

Návrh a nastavení elektrických ochran pro rozvodnu R22 kV Vsetín

Design and setting of electrical protections for substation R 22kV Vsetín

Bc. Tomáš Urban

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing Zdeněk Medvec

Ostrava, 2021

Abstrakt

V diplomové práci je řešen teoretický rozbor elektrických ochrana a zkratových proudů. V praktické části je provedeno nastavení ochran vedení v rozvodně R22kV Vsetín. Tato rozvodna napájí poměrně rozsáhlé horská elektrická vedení, které mohou dosahovat délky desítek kilometrů. To má za následek poměrně nízké zkratové proudy na konci dlouhých úseků. Pro výpočty zkratových proudů se vychází ze znalostí výkonů a napětí nakrátko transformátorů, výkonů a rázové reaktance generátorů a zkratového výkonu nadřazené soustavy. Při výpočtech impedance vedení se uvažuje jeho reaktance a činný odpor. Je zde provedena kontrola, zda nedochází k přetěžování PTP. Pro chránění vedení 22 kV bude využito nesměrových nadproudových ochran, zkratových ochran, zemních směrových ochran a funkce AOZ.

Klíčová slova

Elektrická ochrana, nadproudová ochrana, zkratová ochrana, vedení, výpočet zkratových proudů, automatika opětovného zapnutí, rozvodna.

Abstract

The diploma thesis deals with a theoretical analysis of electrical protection and short-circuit currents. In the practical part, the protections are set in the substation R22kV Vsetín. This substation supplies a relatively large mountain power lines, which can reach tens of kilometers in length. This results in relatively low short-circuit currents at the end of long sections. The calculations of short-circuit currents are based on the knowledge of the power and short-circuit voltages of transformers, the power and subtransient reactance of generators and the short-circuit power of the superior system. When calculating the impedance of the line, its reactance and resistance are considered. There is the check whether there is no overloading of PTP converters. Non-directional overcurrent protections, short-circuit protections, directional ground-fault protections and AOZ will be used to protect 22 kV lines.

Keywords

Electrical protection, short circuit protection, overcurrent protection, powerline, short-circuit current calculation, automatic reclosing, substation,

Poděkování

Děkuji firmě ČEZ Distribuce, a.s. za poskytnutou technickou dokumentaci pro vypracování diplomové práce. Za neocenitelné praktické rady z oblasti chránění vedení děkuji konzultantovi Ing. Milanovi Blokšovi. V neposlední řadě patří poděkování vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za odborné rady při vypracování této práce.

Obsah

Obsah	4
Seznam použitých symbolů a zkratk	6
Seznam ilustrací	8
Seznam tabulek	9
Úvod	12
1. Teoretický rozbor ochran a jištění	13
1.1. Základní pojmy	13
1.2. Součinnost mezi ochranou a chráněným objektem	13
1.3. Dělení ochran podle konstrukce	15
1.3.1. Elektromechanické ochrany	15
1.3.2. Elektronické ochrany	16
1.3.3. Digitální ochrany	16
1.4. Charakteristika ochran	16
1.5. Požadavky na systém chránění	17
1.6. Základní členy	18
1.6.1. Vstupní člen	18
1.6.2. Rozběhový (popudový) člen	19
1.6.3. Měřicí člen	19
1.6.4. Časový člen	20
1.6.5. Koncový člen	20
1.6.6. Napájecí člen	20
1.6.7. Logika	21
1.6.8. Filtry souměrných složek	21
1.7. Ochrany vedení	21
1.7.1. Ochrany nadproudové	22
1.7.2. Nezávislé nadproudové ochrany	22
1.7.3. Nastavování nezávislých nadproudových ochran	23
1.7.4. Podpěťové blokování nadproudových ochran	24
1.7.5. Závislé nadproudové ochrany	24
1.7.6. Směrové proudové ochrany	25
1.7.7. Mžikové ochrany	26
1.7.8. Distanční ochrany	27
1.7.9. Automatiky opětovného zapínání	28
1.7.10. Zemní ochrany	29
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů	31
2.1. Základní definice	31
2.2. Zjednodušující předpoklady výpočtu	33
2.3. Souměrné složky	33
2.4. Výpočet zkratových proudů ve fyzikálních jednotkách	34
2.4.1. Sousledné parametry prvků	35
2.4.2. Netočivé parametry prvků	37

3.	Popis rozvodny R 22 kV Vsetín	39
4.	Popis ochran navržených pro chránění rozvodny R22 kV Vsetín	42
4.1.	Hlavní vlastnosti ochrany	42
4.2.	Skupiny funkcí.....	43
4.3.	Mikropočítačový systém.....	43
4.4.	Možnosti chránění.....	44
5.	Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně R 22kV Vsetín	46
5.1.	Reaktance zdroje a transformátorů	46
5.2.	Výpočet lokálních zdrojů	47
5.2.1.	Určení minimální impedance	48
5.2.2.	Výpočet minimálního zkratového proudu VN889	49
5.3.	Vedení VN893	51
5.3.1.	Minimální zkratový proud vedení VN893	53
5.4.	Tabulky hodnot dalších vedení	54
5.5.	Rozběhové proudy a kontrola PTP	80
5.6.	Chránění transformátorů na straně VN.....	80
5.7.	Nastavení SP a SPP	81
5.8.	Nastavení HDO1, HDO2	82
5.9.	Zemní směrové ochrany	83
5.10.	Nastavení automatiky opětného zapnutí	83
6.	Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran.....	84
	Závěr.....	86
	Literatura.....	87
	Seznam příloh.....	88
	Příloha A.	89

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	Střídavá soustava
AOZ	Automatika opětného zapnutí
ČEZ	České energetické závody
DC	Stejnoseměrná soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HW	Hardware
k_b	Koeficient bezpečnosti
k_c	Koeficient citlivosti
k_p	Přídržný poměr
NN	Nízké napětí
NO	Nadproudová ochrana
PC	Osobní počítač
P_d	Dovolený prostor
p_i	Převodní poměr
PTP	Přístrojový transformátor proudu
P_z	Zakázaný prostor
SW	Software
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZNO	Závislá nadproudová ochrana
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

A		Ampér, jednotka elektrického proudu
Hz		Hertz, jednotka frekvence
I	(A, kA)	Proud
I_k	(A, kA)	Zkratový proud
I_{kmax}	(A, kA)	Maximální zkratový proud
I_{kmin}	(A, kA)	Minimální zkratový proud
I_n	(A, kA)	Jmenovitý proud
I_r	(A, kA)	Rozběhový proud
kA		Kiloampér, jednotka elektrického proudu
l	(m)	Délka
m		Metr, jednotka délky
MVA		Megavoltampér, jednotka zdánlivého výkonu
R	(Ω)	Činný odpor
R_k	(Ω/km)	Činný odpor na kilometr délky
s		Sekunda, jednotka času
S_n	(MVA)	Zdánlivý jmenovitý výkon
t	(s)	Čas

U	(V, kV)	Napětí
U_i	(V)	Vnitřní napětí
u_k	(%)	Napětí na krátko
U_n	(V)	Jmenovité napětí
U_r	(V)	Rozběhové napětí
V		Volt, jednotka napětí
VA		Voltampér, jednotka zdánlivého výkonu
Z	(Ω)	Impedance
X	(Ω)	Reaktance
X_k	(Ω/km)	Reaktance na kilometr délky
Z_k	(Ω)	Zkratová impedance
Z_s	(Ω)	Impedance napájecí soustavy
Ω		Ohm, jednotka činného odporu, reaktance a impedance

Pozn: Další symboly jsou vysvětleny přímo v textu.

Seznam ilustrací

Obr. 1	Vzájemná spolupráce mezi ochranou a chráněným objektem. [2].....	14
Obr. 2	Popis pomocí stavových veličin. [2].....	15
Obr. 3	Charakteristika nadproudové ochrany. [1].....	17
Obr. 4	Charakteristiky měřicího a popudového členu. [1].....	19
Obr. 5	Vypínací plán nezávislé nadproudové ochrany. [4].....	22
Obr. 6	Vypínací plán závislých nadproudových ochran [4].....	25
Obr. 7	Použití směrových ochran na paralelním vedení. [3].....	26
Obr. 8	Charakteristika mžikové ochrany. [3].....	27
Obr. 9	Měření impedance poruchové smyčky. [1].....	27
Obr. 10	Vypínací plán distanční ochrany. [1].....	28
Obr. 11	Souměrný trojfázový zkrat. [5].....	31
Obr. 12	Dvoufázový zkrat (bez zkratu na zem). [5].....	31
Obr. 13	Jednofázový zkrat. [5].....	31
Obr. 14	Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou. [5]	32
Obr. 15	Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou. [5]	33
Obr. 16	Typické schéma zapojení pole napájecí vedení z rozvodny 22 kV Vsetín. [11]	41
Obr. 17	Vkládání funkcí pomocí funkčních skupin. [8]	43
Obr. 18	Schéma včetně připojení generátorů pro výpočet maximálního zkratového proudu.	48
Obr. 19	Schéma pro výpočet maximálního proudu.....	49
Obr. 20	Schéma vedení VN893.	52

Seznam tabulek

Tab. 1 Napěťový činitel c . [5]	35
Tab. 2 Vybavení polí stávajícími ochranami [11]	39
Tab. 3 Parametry transformátorů.	46
Tab. 4 Hodnoty zkratových proudů a výkonů	46
Tab. 5 Parametry generátorů.	47
Tab. 6 Parametry transformátorů.	47
Tab. 7 Parametry vedení VN889.	48
Tab. 8 Parametry hlavního vedení VN983.	51
Tab. 9 Parametry 1. odbočky VN983.	51
Tab. 10 Koeficienty k_e . [13]	52
Tab. 11 Určené hodnoty pro vedení VN893.	53
Tab. 12 Určené hodnoty pro 1. odbočku vedení VN893.	53
Tab. 13 Zadané parametry vedení VN61.	54
Tab. 14 Zadané parametry 1. odbočky VN61.	55
Tab. 15 Vypočítané hodnoty vedení VN61.	55
Tab. 16 Vypočítané hodnoty vedení 1. odbočky VN61.	55
Tab. 17 Zadané parametry vedení VN32.	55
Tab. 18 Zadané parametry 1. odbočky VN32.	56
Tab. 19 Zadané parametry 2. odbočky VN32.	56
Tab. 20 Zadané parametry 3. odbočky VN32.	56
Tab. 21 Vypočítané hodnoty vedení VN32.	56
Tab. 22 Vypočítané hodnoty 1. odbočky VN32.	57
Tab. 23 Vypočítané hodnoty 2. odbočky VN32.	57
Tab. 24 Vypočítané hodnoty 3. odbočky VN32.	57
Tab. 25 Zadané parametry vedení VN152.	57
Tab. 26 Zadané parametry 1. odbočky VN152.	57
Tab. 27 Vypočítané hodnoty vedení VN152.	58
Tab. 28 Vypočítané hodnoty 1. odbočky vedení VN152.	58
Tab. 29 Zadané hodnoty vedení VN227.	58
Tab. 30 Vypočítané hodnoty vedení VN227.	58
Tab. 31 Zadané parametry vedení VN65.	59
Tab. 32 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN65.	60
Tab. 33 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN65.	60
Tab. 34 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN65.	60
Tab. 35 Zadané parametry 4. odbočky vedení VN65.	60
Tab. 36 Zadané parametry 5. odbočky vedení VN65.	60
Tab. 37 Zadané parametry 6. odbočky vedení VN65.	61
Tab. 38 Vypočítané hodnoty hlavního vedení VN65.	62
Tab. 39 Vypočítané hodnoty 1. odbočky vedení VN65.	63
Tab. 40 Vypočítané hodnoty 2. odbočky vedení VN65.	63
Tab. 41 Vypočítané hodnoty 3. odbočky vedení VN65.	63
Tab. 42 Vypočítané hodnoty 4. odbočky vedení VN65.	63
Tab. 43 Vypočítané hodnoty 5. odbočky vedení VN65.	63
Tab. 44 vypočítané hodnoty 6. odbočky vedení VN65.	64

Tab. 45 Zadané parametry vedení VN141.....	64
Tab. 46 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN141.....	64
Tab. 47 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN141.....	65
Tab. 48 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN141.....	65
Tab. 49 Zadané parametry odbočky 3.1 vedení VN141.....	65
Tab. 50 Vypočítané parametry vedení VN141.....	66
Tab. 51 Vypočítané parametry 1. odbočky vedení VN141.....	66
Tab. 52 Vypočítané parametry 2. odbočky vedení VN141.....	66
Tab. 53 Vypočítané parametry 3. odbočky vedení VN141.....	67
Tab. 54 Vypočítané parametry odbočky 3.1 vedení VN141.....	67
Tab. 55 Zadané parametry vedení VN223.....	67
Tab. 56 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN223.....	68
Tab. 57 Zadané parametry odbočky 2.1 vedení VN223.....	68
Tab. 58 Zadané parametry odbočky 2.2 vedení VN223.....	68
Tab. 59 Zadané parametry odbočky 2.3 vedení VN223.....	69
Tab. 60 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN223.....	69
Tab. 61 Vypočítané hodnoty vedení VN223.....	69
Tab. 62 Vypočítané hodnoty 1. odbočky vedení VN223.....	69
Tab. 63 Vypočítané hodnoty 2. odbočky vedení VN223.....	70
Tab. 64 Vypočítané hodnoty odbočky 2.1 vedení VN223.....	70
Tab. 65 Vypočítané hodnoty odbočky 2.2 vedení VN223.....	70
Tab. 66 Vypočítané hodnoty odbočky 2.3 vedení VN223.....	70
Tab. 67 Vypočítané hodnoty 3. odbočky vedení VN223.....	71
Tab. 68 Zadané parametry vedení VN231.....	71
Tab. 69 Vypočítané hodnoty vedení VN231.....	71
Tab. 70 Zadané hodnoty vedení VN238.....	71
Tab. 71 Vypočítané hodnoty Vedení VN238.....	72
Tab. 72 Zadané hodnoty vedení VN243.....	72
Tab. 73 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN243.....	72
Tab. 74 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN243.....	72
Tab. 75 Vypočítané hodnoty vedení VN243.....	73
Tab. 76 Vypočítané hodnoty na 1. odbočce vedení VN243.....	73
Tab. 77 Vypočítané hodnoty na 2. odbočce vedení VN243.....	73
Tab. 78 Vypočítané hodnoty vedení VN 889.....	73
Tab. 79 Zadané parametry vedení VN890.....	74
Tab. 80 Vypočítané hodnoty vedení VN890.....	74
Tab. 81 Zadané parametry vedení VN1212.....	74
Tab. 82 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN1212.....	74
Tab. 83 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN1212.....	75
Tab. 84 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN1212.....	75
Tab. 85 Zadané parametry odbočky 3.1 vedení VN1212.....	75
Tab. 86 Vypočítané hodnoty vedení VN1212.....	76
Tab. 87 Vypočítané parametry 1. odbočky vedení VN1212.....	76
Tab. 88 Vypočítané hodnoty 2. odbočky vedení VN1212.....	76
Tab. 89 Vypočítané hodnoty 3. odbočky vedení VN1212.....	77
Tab. 90 Vypočítané hodnoty odbočky 3.1 vedení 1212.....	77

Tab. 91 Zadané parametry vedení VN1217.....	78
Tab. 92 Vypočítané hodnoty vedení VN1217.....	79
Tab. 93 Vypočítané hodnoty.....	80
Tab. 94 Nastavení sad pro SPP.....	82
Tab. 95 Nastavení zemních směrových ochran.....	83
Tab. 96 Výsledné nastavení ochran.....	84

Úvod

Elektrické ochrany vedení jsou důležitým zařízením chránícím distribuční a přenosové sítě energetické soustavy. Zpracovávají informace o chráněném objektu a rozlišují, zda se chráněný objekt nachází v provozním či poruchovém stavu.

Mezi nepoužívanější ochrany pro sítě 22 kV patří ochrany proti přetížení, zkratu a ochrany zemní. Tyto poruchy nepříznivě ovlivňují provoz elektrických vedení. Při zemních spojeních dochází ke vzniku přepětí namáhající další zařízení, což může vést až ke zkratu. Přetížení způsobuje zvýšení teploty vedení, čímž dochází ke stárnutí izolace. Při zkratech dochází k průchodu největších proudů, proto je třeba zkraty co nejdříve vypnout. Způsobují poškození vodičů vlivem tepelných účinků proudu. Poškozují také izolátory a dynamické síly působí nepříznivě z hlediska mechanického namáhání například na přípojnice. Případné poškození zařízení a stárnutí izolace působí také přepětí, které vzniká vlivem úderu blesku, spínáním nebo při zemním spojení, jak bylo uvedeno výše.

Poruchové stavy mají za následek také výpadky dodávky elektrické energie (např. při zkratu) a ovlivňují i kvalitu dodávané elektrické energie. Abychom dosáhli co nejkratších výpadků dodávky, vzniklých vlivem poruchy, používá se automatika opětovného zapnutí. Většina zkratů je pouze krátkodobých a toto zařízení nám umožňuje opětovné automatické obnovení provozu bez nutnosti zásahu obsluhy. Pokud je zkrat trvalý, je nutné jeho příčinu fyzicky odstranit. Aby bylo při opravě postiženo co nejméně odběratelů, využívá se možnost napájení z více stran nebo například spínání na pomocnou přípojnicí v rozvodně.

V první kapitole je proveden všeobecný rozbor elektrických ochrany se zaměřením na ochrany vedení. V druhé kapitole je teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů. Třetí kapitola stručně popisuje stávající rozvodnu R22kV ve Vsetíně. Ve čtvrté kapitole je popsána navržená ochrana SIPROTEC 5, kterou se budou nahrazovat stávající ochrany. Výpočtově rozsáhlá pátá kapitola obsahuje výpočty týkající se nastavení ochrany. V závěrečné kapitole jsou zahrnuty výsledky práce.

1. Teoretický rozbor ochran a jištění

Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení musí plnit tyto činnosti:

- rychle a spolehlivě určit poruchu nebo překročení meze normálního provozu chráněného zařízení,
- vypnout je v čase, který musí být stanoven tak, aby se zabránilo vzniku škod nebo omezil jejich rozsah na stroji nebo zařízení a zajistila se ochrana osob před účinky elektrické energie,
- snížit riziko požáru v důsledku tepelných účinků zkratového proudu,
- zajistit, aby se porucha nerozšířila na ostatní prvky ES a neohrozila její chod a napájení spotřebitelů.

Rozsah oblasti chránění ochrany musí být navržen tak, aby nevznikl nechráněný úsek ES a sousední oblasti se překrývaly. Pro správné nastavení ochran musí být stanoveny (výpočtem, měřením) hodnoty poruchových veličin (proudu, napětí, impedance apod.) při všech pravděpodobně možných provozních stavech a zapojeních sítí. [6]

1.1. Základní pojmy

Přídržný poměr je poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany k její velikosti při náběhu ochrany.

Doba působení ochrany je čas mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany. Označuje se symbolem t_p .

Přetížitelnost ochrany je maximální velikost vstupu ochrany, která působí definovanou dobu a neohrozí ještě život ochrany.

Spotřeba ochrany je příkon potřebný pro provoz ochrany. Udává se odděleně pro všechny vstupy ochrany i pro pomocný napájecí obvod při jmenovitých hodnotách.

Primární ochrana je ochrana, která pracuje bez přístrojových transformátorů, tj. proud a napětí jsou přivedeny přímo z objektu.

Sekundární ochrana je připojena k objektu přes přístrojové transformátory.

Prvek je elementární stavební díl ochrany, např. tranzistor, transformátor nebo relé.

Člen ochrany je soubor několika prvků ochrany, které tvoří samostatný funkční celek. Jedná se například o vstup nebo časový člen ochrany.

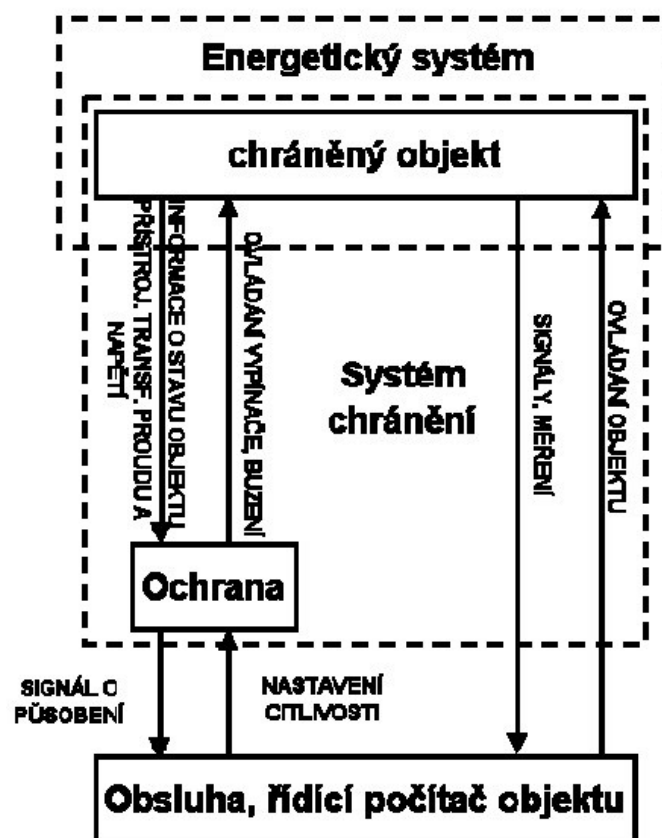
Blokování ochrany je činnost ochrany, která je podmíněna funkcí jiného přístroje.

Základní ochrana je základní vybavení objektu.

Záložní ochrana je vedlejší vybavení ochranou. Je vhodné zpozdit její působení proti základní ochraně, aby základní měla možnost působit přednostně. [3]

1.2. Součinnost mezi ochranou a chráněným objektem

Ochrana je zařízení kontrolující chod určité části energetického systému. Srovná skutečnou hodnotu s nastavenou. Data o stavu jednotlivých veličin chráněného objektu dostává zpravidla prostřednictvím přístrojových transformátorů napětí a proudu, elektronických převodníků nebo čidel. Součinnost mezi chráněným objektem a ochranou je znázorněn na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1 Vzájemná spolupráce mezi ochranou a chráněným objektem. [2]

Informace o napětí a proudu je zpracována ochranou. Ochrana musí rozlišit, zda jde o poruchu či nikoliv. V případě poruchy ochrana vypíná chráněný objekt. Existuje také vazba mezi ochranou a obsluhou, anebo řídicím počítačem. Popřípadě existuje také vazba mezi chráněným objektem a počítačem.

Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin. Stavová veličina chráněného objektu je fyzikální veličina, jejíž velikost charakterizuje současné chování objektu (proud, napětí, okamžitý výkon, kmitočet). Stav objektu $x(t)$ je soubor stavových veličin objektu. Zapisujeme jej ve tvaru vektoru.

$$x(t) = \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix} = \text{stav je popsán proudy} \quad (1.1)$$

Vstup objektu $p(t)$ je vektor veličin, kterými působí okolí na chráněný objekt.

$$p(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ u(t) \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

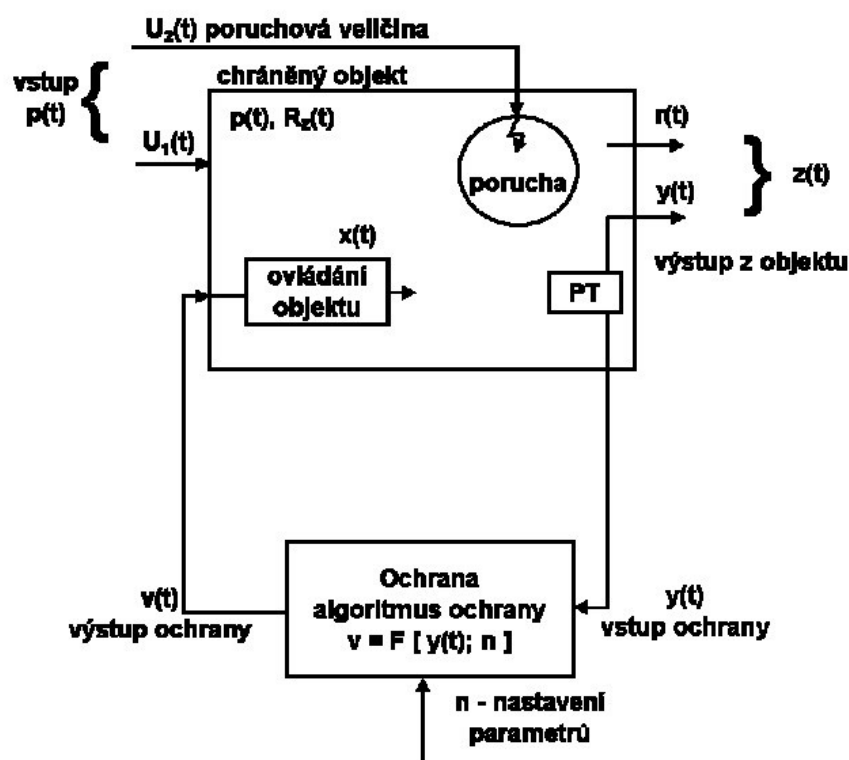
Kde $v(t)$ jsou vstupy ovládané ochranou a $u(t)$ jsou vstupy, které nemůže ochrana ovlivnit.

Výstup objektu $z(t)$ je vektor veličin chráněného objektu, kterými působí na okolí.

$$z(t) = \begin{bmatrix} y(t) \\ r(t) \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Kde $y(t)$ je vektor výstupů měřených ochranou a současně vstupem ochrany, $r(t)$ jsou ostatní výstupy neměřené ochranou.

Porucha je taková fyzikální změna na objektu, která způsobuje poruchu. Vstupní veličiny ochrany $y(t)$ jsou v poruchovém stavu značně veliké, nebo i malé. Proudové mohou být řádově v kiloampérech a napětí ve stovkách kilovoltů apod. Proto ochrany připojujeme přes přístrojové transformátory nebo převodníky napětí a proudu. [2]



Obr. 2 Popis pomocí stavových veličin. [2]

1.3. Dělení ochran podle konstrukce

Ochrany lze rozdělit podle konstrukce použitých prvků, z kterých jsou vyrobené. Vývoj ochran prošel třemi hlavními vývojovými stupni. Patří sem ochrany elektromechanické, elektronické a digitální. [1]

1.3.1. Elektromechanické ochrany

Elektromechanické ochrany jsou nejstarší analogové ochrany. konstrukčně jsou řešeny pomocí elektromagnetických relé. Elektromechanická ochrana je soubor jisticích relé, které elektricky

a mechanicky spolupracují. Mají pohyblivé části. Ve stavovém prostoru chráněného objektu obvykle sledují pouze jeden rozměr vektoru $\bar{x}(t)$. Jsou řešeny tak, že každá jejich část vykonává pouze jednu funkci. Podle principu činnosti je lze rozdělit na:

- elektromagnetické,
- stejnosměrné,
- elektrodynamické,
- indukční,
- polarizační. [1]

1.3.2. Elektronické ochrany

Jedná se o analogové ochrany pracující na bázi polovodičových prvků (integrovaných obvodů). Tyto ochrany jsou běžně sestavené z funkčních jednotek, které tvoří standardní moduly. Nemají pohyblivé části, a proto se nazývají statické. V porovnání s elektromechanickými ochranami mají několik výhod (kratší operační časy, větší přesnost, lepší přizpůsobení charakteristiky k potřebám chráněného objektu, menší požadavky na údržbu, realizace složitějších algoritmů). Mají také i nevýhody jako nízkou odolnost polovodičů proti indukovaným napětím vznikajících při poruchách silnoproudých zařízení nebo potřeba tepelné stabilizace elektronických obvodů. Vysoká citlivost a rychlost působení může mít negativní vliv v případě, že ochrana zareaguje na rušivé vlivy vyskytující se v ES nejen po dobu poruchy, ale i při běžných provozních stavech. [1]

1.3.3. Digitální ochrany

Výpočetní technika postupně nahrazuje mnoho tradičních zařízení, které se v elektroenergetice používají. Jednou z těchto oblastí jsou právě digitální ochrany. Hlavní důvod jejich využití nebyl jen ve spolehlivosti plnění běžně požadovaných úloh od klasických ochran, ale hlavně v zdokonalení její funkčnosti potřebné pro obsluhu. Mezi jejich výhody patří přesnost, selektivita, komplexnější zpracování vstupních veličin a také lepší uživatelský komfort. Velmi důležitou funkcí je autokontrola digitálních ochran, což umožňuje prodloužit interval mezi ručně vykonávanými revizemi až na několik roků. Postupně se s vývojem výpočetní techniky zdokonalují v programovém a konstrukčním vybavení. Stávají se cenově dostupnější. Digitální ochrany přispívají k monitorování, ovládání a řízení provozu ES a její prvků v reálném čase. [1]

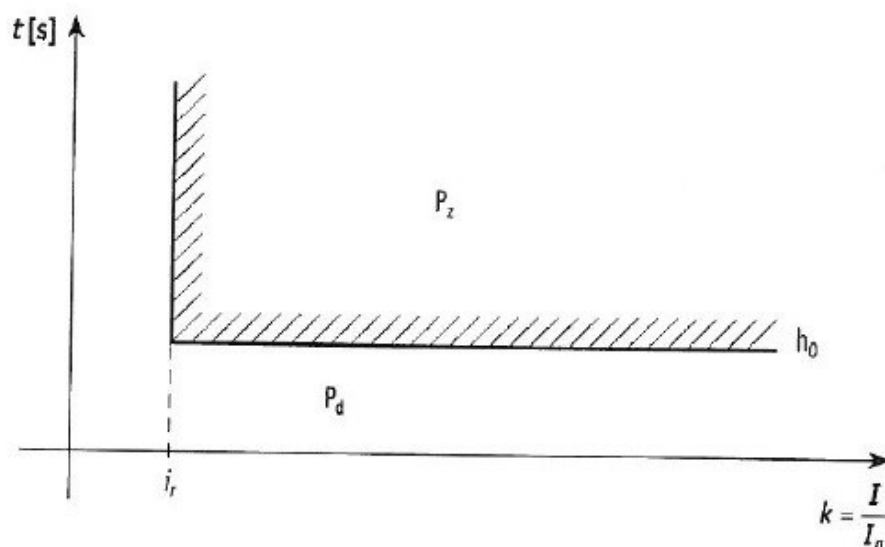
1.4. Charakteristika ochran

Základem každé elektrické ochrany je její algoritmus. Algoritmus ochrany je popis funkce ochrany a je daný vztahem mezi vstupním vektorem a výstupem ve tvaru:

$$\bar{v}(t) = F[\bar{y}(t), n] \quad (1.4)$$

kde n je soubor konstant, pomocí kterých specifikujeme algoritmus ochrany.

Zobrazením algoritmu do grafické podoby dostaneme její charakteristiku. Ta představuje hranici h_0 jako množinu stavů $\bar{x}(t)$, kde se objevuje porucha. Hranice h_0 se šrafuje do oblasti zakázaných stavů P_z . [1]



Obr. 3 Charakteristika nadproudové ochrany. [1]

1.5. Požadavky na systém chránění

Selektivita – ochrana musí vypínat pouze ten prvek soustavy, na němž vznikla porucha. Smysl selektivity je v tom, že je vypínán co nejmenší úsek soustavy postižené poruchou.

Selektivity lze dosáhnout několika způsoby:

- časovým odstupňováním působení ochran, což znamená, že elektrická ochrana nejbližší k místu poruchy působí nejrychleji a všechny ostatní ochrany působí postupně s nastaveným časovým zpožděním. Časové zpoždění je pevně dané anebo čas je daný inverzně ve vztahu k poměru poruchového proudu (používá se u nadproudových a impedančních ochran).
- porovnáním vybraných veličin z více míst chráněného objektu. V praxi se jedná o amplitudové nebo fázové porovnání proudů na obou koncích chráněného úseku (používá se v rozdílových, srovnávacích nebo logických ochranách).
- nastavením úrovně charakteristické veličiny. Podstata spočívá v různém nastavení hodnot charakteristické veličiny (např. u mžikových ochran).
- zpracováním více charakteristických veličin současně. Příkladem jsou systémy distanční ochrany,
- kombinací výše uvedených možností, což vede k snížení vypínacích časů. Používá se nejčastěji. [1,6]

Rychlost působení – čas působení elektrické ochrany od identifikace až po vyslání vypínacího povelu na výkonový vypínač. Pro elektromechanické ochrany jsou minimální časy působení od čtyřiceti až šedesáti milisekund. Elektronické ochrany mají čas působení od deseti do šedesáti milisekund. U digitálních ochran je čas působení čtyřicet až padesát milisekund, skutečná hodnota času závisí na

použitém výpočtovém programu a technickém vybavení ochrany. Vlnové ochrany působí do pěti milisekund.

Rychlost působení omezuje nebezpečné následky poruch. Například při zkratech se snižuje rychlým vypnutím nebezpečí tepelného poškození vodičů a izolace, ztráty stability synchronních strojů apod. Některé nenormální stavy jsou krátkodobé a zaniknou samy. Jedná se například o krátkodobé přetížení a pokles napětí při spouštění velkých asynchronních motorů. V tomto případě je rychlé působení nežádoucí.

Citlivost – schopnost spolehlivě rozlišovat poruchy uvnitř chráněného objektu od poruch mimo objekt, což znamená požadavek, aby byla dostatečně přesná. Je nutné se vyvarovat příliš velké citlivosti vedoucí k chybnému působení ochrany například při přetížení. Ochrana se zvýšenou citlivostí lze použít pouze v případě, že se nejde k zhoršení ostatních vlastností jako je selektivita, rychlost či spolehlivost provozu.

Spolehlivost – schopnost vykonávat podle daného algoritmu ve stanoveném čase s požadovanými parametry a splnit všechny technické podmínky z pohledu chráněného objektu. Vysoké spolehlivosti můžeme dosáhnout vysokou technickou kvalitou všech částí (elektrických ochranných, přístrojových transformátorů, napájecího zdroje pomocných obvodů, komunikačních kanálů, vypínačů a jejich mechanismů a všech vnitřních propojení mezi těmito součástkami). Dále také optimální konstrukcí schéma chránění (zabezpečení chránění zdvojením ochranných zařízení pro některé důležité části ES). V neposlední řadě také nepřetržitou autokontrolou jednotlivých obvodů a funkčních celků ochrany.

Objektivita – ochrany můžeme rozdělit na objektivní, které řeší poruchovou situaci z pohledu celé části soustavy nebo její části a autonomní, které působí nejlépe pouze z úzkého hlediska chráněného objektu, toto hledisko je dané omezeným množstvím vstupních informací a zpravidla jednoduchým algoritmem jejich zpracování. [1,4]

1.6. Základní členy

Ochrana obsahuje více částí. Jejich počet a druh závisí na typu ochrany. Mezi základní části patří člen vstupní, rozběhový, měřicí, časový, koncový, napájecí a logika ochrany. Nemusí však obsahovat všechny uvedené členy. Na konstrukci ochrany má vliv složitost jejího algoritmu a požadované funkce, které má ochrana plnit. Nadproudová časově nezávislá ochrana má pouze měřicí člen, který plní zároveň i funkci popudového členu. Distanční ochrany bývají obvykle vybaveny jak členem měřicím, tak i popudovým, přičemž popudový mívá větší citlivost než měřicí. [1]

1.6.1. Vstupní člen

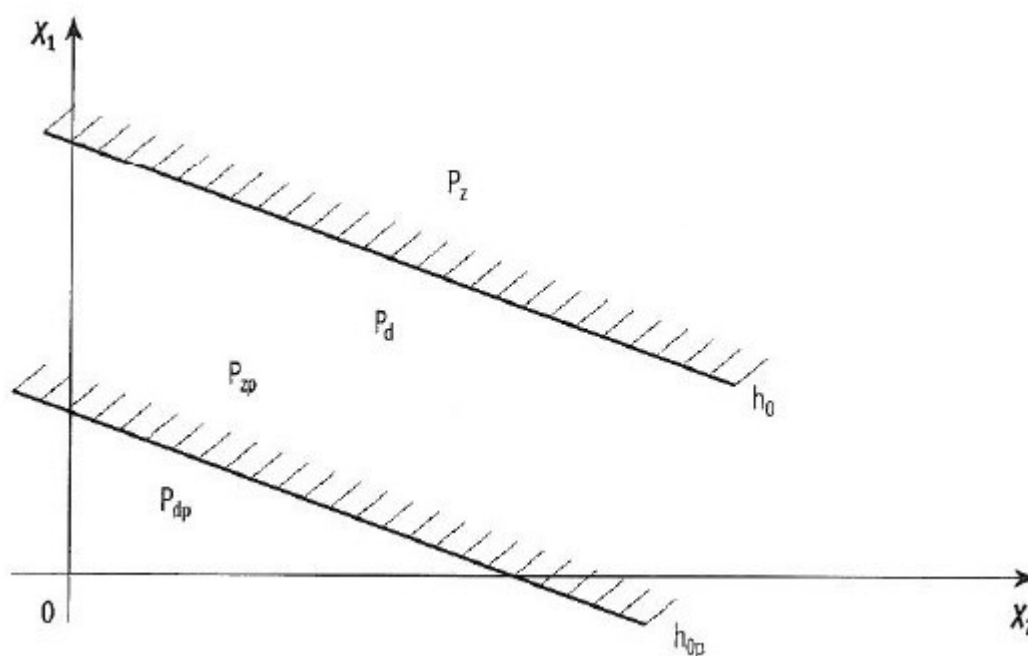
Jeho úkolem je převést kontrolovanou veličinu na zpracovatelný tvar a požadovanou úroveň dalších částí ochrany tak, aby pracovaly na úrovni voltů a miliampérů. Tímto se přispívá k miniaturizaci dalších členů. Galvanicky odděluje vnitřní obvody a chrání je proti elektromagnetickému rušení.

Jmenovité vstupní napětí je obvykle $U_n = 100 \text{ V}$ a jmenovitý proud bývá buď $I_n = 1 \text{ A}$ nebo $I_n = 5 \text{ A}$. Tyto veličiny jsou na vstup ochrany přivedené nejčastěji z přístrojových transformátorů proudu (PTP) nebo napětí (PTN). [1]

1.6.2. Rozběhový (popudový) člen

Úlohou rozběhového členu je uvést do činnosti ochranu při vzniku poruchy. Tento člen obsahuje každá ochrana. Musí mít co největší citlivost na sledovanou veličinu, aby se zabezpečila spolehlivá funkce ochrany jako celku. Rozběhový člen aktivuje činnost dalších členů ochrany. Dává informaci měřicímu členu a logice, čímž se zabezpečí působení koncového členu.

Rozběhové a měřicí členy mohou mít stejné vlastnosti a charakteristiky. Rozběhový člen má však obvykle vyšší citlivost. Může sledovat jednu nebo více veličin chráněného objektu a při tom může mít i různé charakteristiky chránění. Příklad takovéto charakteristiky je na Obr. 1, kde h_0 je charakteristika měřicího členu a h_{op} je charakteristika popudového členu. [1]



Obr. 4 Charakteristiky měřicího a popudového členu. [1]

1.6.3. Měřicí člen

Vlastnosti většiny ochran jsou závislé na měřicím členu. Ten určuje hranici mezi dovoleným prostorem P_d a zakázaným prostorem P_z . Rozdíl mezi měřicím členem napěťové či proudové ochrany není podstatný. Mají společný znak, že měří amplitudu střídavého napětí nebo proudu. Proto je vhodné analyzovat měřicí členy nikoliv podle měřené fyzikální veličiny, ale podle charakteru funkce. Existují dva základní typy měřicích členů. Prvním základním typem je amplitudový člen. Druhým typem je součinnový člen, který měří fázi mezi dvěma vstupními veličinami. Z těchto dvou typů jsou dále odvozeny další měřicí členy:

Amplitudový měřicí člen

- závislý
- nezávislý
- rozdílový
- amplitudový komparátor

Součinnový měřicí člen

- fázový komparátor [1]

1.6.4. Časový člen

Časový člen ovlivňuje čas působení ochrany, tj. zabezpečuje úmyslné časové zpoždění ochrany. Zpoždění působení ochrany se vyžaduje v několika případech:

- zajištění selektivního vypínání,
- ponechání akumulace energie, například dovolené přetížení chráněného objektu,
- vyloučení chybného působení při přechodných proudových jevech krátkého trvání (např. přesycení PTP aperiodickou složkou zkratového proudu). [1]

1.6.5. Koncový člen

Je obvykle klasické elektromagnetické relé s výkonovými kontakty. Jeho úlohou je přivést napětí na jednu ze dvou ovládacích cívek výkonového vypínače. Kontakty výstupních obvodů koncového členu musí mít dostatečnou proudovou zatížitelnost a samotný člen musí mít dostatečnou odolnost proti vnějšímu rušení. Použití tyristorů ve funkci koncového členu se z hlediska odolnosti vůči vlivu rušení neosvědčilo. [1]

1.6.6. Napájecí člen

Napájecí člen napájí obvody dílčích částí ochrany, které pro svou činnost vyžadují pomocný zdroj energie. Obvody ochrany z hlediska napájení můžeme rozdělit do více kategorií:

- ochrany bez napájení, ty nepotřebují pomocný zdroj energie,
- ochrany napájené ze staniční akumulátorové baterie, což je nejčastější způsob,
- napájení z přístrojových transformátorů, které se používá v případě, že není k dispozici staniční baterie,
- napájení ze střídavé sítě (z vlastní spotřeby elektrické stanice), které se kvůli nižší spolehlivosti nepoužívá.

Elektronické a digitální ochrany jsou napájeny ze staniční baterie přes stabilizátor napětí. Tyto ochrany, z důvodu zvýšení odolnosti proti vnějšímu rušení, mohou být ještě dále doplněné o další obvody. Může to být jednak akumulátor umístěný v ochraně. Tento akumulátor je spojený se staniční baterií pouze po dobu dobíjení. V druhém případě se může jednat o galvanicky oddělenou soustavu střídač – usměrňovač. Zde se stejnosměrné napětí ze staniční baterie přivede do střídače, pak se

galvanicky oddělí transformátorem a potom se znovu usměrní a stabilizuje. Soustava střídače pracuje obvykle na vyšší frekvenci než $f = 50$ Hz, čímž dosáhneme menších rozměrů.

Z hlediska způsobu připojení ochrany k chráněnému objektu se v současnosti výhradně používají sekundární ochrany, které se k chráněnému objektu připojují přes PTP a PTN. Tímto dosáhneme, že obvody ochrany pracují s nízkými hodnotami napětí a proudu. Jsou bezpečné pro obsluhu a snižují nároky na prostor při jejich montáži do panelů. [1]

1.6.7. Logika

Logika ochrany na základě signálů z měřicího a časového členu určuje činnost koncového členu (algoritmus působení ochrany). Vstupy a výstupy z logiky jsou logické nuly nebo jedničky. Proto je struktura logiky tvořená základními logickými funkcemi Boolovy algebry. V ochraně se použije takový typ logického členu, který odpovídá technologii výroby ochrany. logické obvody mohou být realizovány pomocí klasických relé, diod, tranzistorů, integrovaných obvodů nebo technickým a programovým vybavením u digitálních ochrany. [1]

1.6.8. Filtry souměrných složek

Filtry souměrných složek proudů a napětí tvoří zvláštní skupinu členů, které se používají v popudových i měřicích členech ochrany. Souměrné složky proudu a napětí umožňují rozlišovat různé druhy nesymetrických poruch. Dají se realizovat pasivními obvody nebo aktivními obvody s použitím zesilovačů. Jedná se o filtry nulové, sousledné a zpětné složky. [2]

1.7. Ochrany vedení

Ochrany vedení lze rozdělit do dvou základních skupin. Jsou to ochrany stupňovité a srovnávací. Mezi stupňovité ochrany patří všechny ochrany, které pro získání selektivnosti působení potřebují vhodně odstupňované časové zpoždění. Obsahují vstupní, popudový a časový člen, které po případě s členem časovým a směrovým stanoví, zda se má vedení odpojit a v jakém čase. Při zkratu na vedení se uvede do chodu celá řada ochrany ležících mezi místem zkratu a zdrojem. Musí vypnout ten vypínač, který je nejbližší zkratu. Časovým odstupňováním je zajištěna selektivita vypínání zkratových poruch. Vzdálenější ochrany od místa zkratu mají nastavený čas delší, který se liší o určitou hodnotu Δt . Pokud by selhal vypínač nebo ochrana, která měla zkrat odpojit, převezme vypínání nejbližší sousední ochrana. Slouží proto ochrana každého úseku nejen jako hlavní ochrana svého úseku, ale i jako ochrana záložní pro úsek ležící před ní. V tomto případě pak jako záložní působí v delším čase. Ke stupňovitým ochranám patří nadproudové ochrany závislé či nezávislé, směrové nadproudové ochrany a distanční ochrany.

Ochrany srovnávací pracují na principu porovnání určitých veličin (proud, výkon, fáze proudu apod.) na vstupu a výstupu chráněného objektu. Již z názvu ochrany této skupiny je zřejmé, že se v nich srovnávají měřené veličiny ze dvou míst, obvykle na začátku a konci chráněného objektu. Pokud je chráněný objekt uvnitř bez poruchy, jsou hodnoty srovnávaných veličin stejné a není důvod k vypnutí. Při rozdílu srovnávaných hodnot vyhodnocuje ochrana, zda jde pouze o poruchu uvnitř chráněného objektu a dává impuls k jeho vypnutí. Vypnutí může být provedeno okamžitě bez předem nastaveného zpoždění. Protože se srovnávací ochrany starají pouze o svůj chráněný objekt (vedení, transformátor,

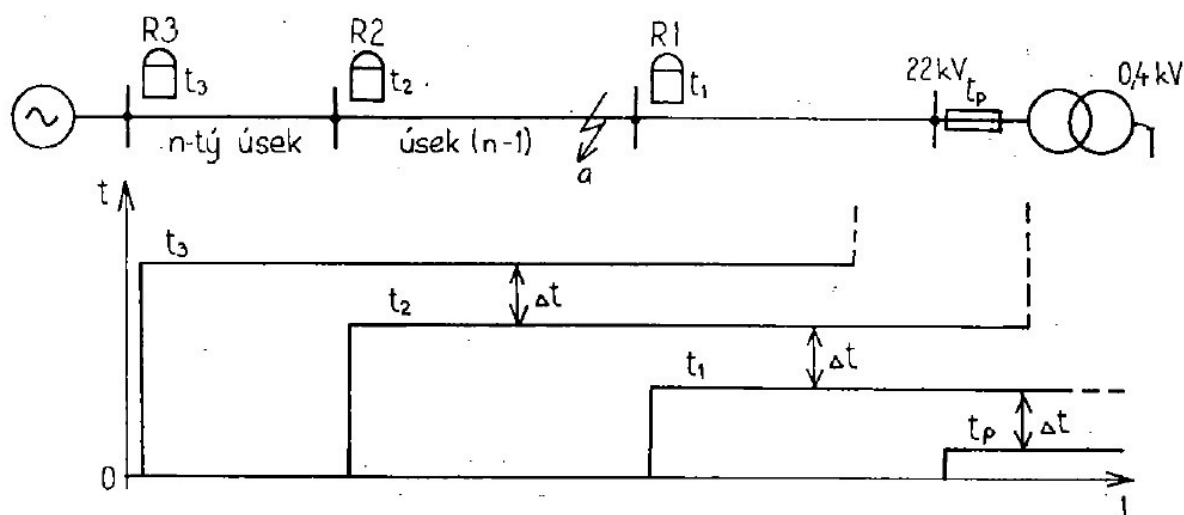
generátor aj.), nepotřebují se časově přizpůsobovat dalším ochranám. Pro případ závady na srovnávací ochraně (a ní ovládanými vypínači) je nutno ji doplnit ochranou záložní. Ta je obvykle stupňovitá vypínající poškozený úsek v delším (záložním čase). Zde se jako záloha používá distanční nebo nadproudová ochrana. [4]

1.7.1. Ochrany nadproudové

Jsou používány zejména pro svou jednoduchost a projektují se u méně důležitých vedení a případně jako záložní ochrany. Princip funkce je odvozený od zvýšeného proudu při zkratu nebo přetížení. Dělíme je z hlediska působení v závislosti na čase a nadproudu na závislé, polozávislé, nezávislé a mžikové. [4]

1.7.2. Nezávislé nadproudové ochrany

Jsou nejčastěji využívány v radiálních sítích VN, kde je řada úseků zapojena sériově. Ochrana umístěná nejdále od zdroje má nastavený nejkratší čas, avšak ten musí být dostatečně dlouhý, aby v další rozvodné síti působily pojistky, a přitom ochrana R1 (Obr. 5) nepůsobila. Ochrana ležící blíže ke zdroji se nastaví na čas $t_2 = t_1 + \Delta t$ a ochrana R3 se nastaví na čas $t_3 = t_2 + \Delta t$. Koordinační interval Δt je závislý na provedení nadproudového relé, a to hlavně na přesnosti zpožďovacího časového členu a u současných ochran bývá 0,3 až 0,5 s. Proudové nastavení měřících členů nutno seřídit tak, aby se ochrany v sousedních úsecích vzájemně zálohovaly. Nevýhodou těchto ochran je, že nejtěžší zkraty jsou nejbližší ke zdroji a jsou vypínány nejpozději. Mají ale výhodu, že vhodným proudovým nastavením se mohou zálohovat navzájem. Například při nastavení všech ochran na velikost nejmenšího zkratového proudu na konci vedení nabíhají všechny ochrany od místa zkratu směrem ke zdroji. Při jejich proudovém nastavení musíme přihlídnout k tomu, že nesmí nabíhat při normálním provozním proudovém zatížení. [4]



Obr. 5 Vypínací plán nezávislé nadproudové ochrany. [4]

1.7.3. Nastavování nezávislých nadproudových ochran

Stupeň Δt časové selektivity se stanoví rozdílem časového zpoždění ochran dvou sousedních úseků.

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} \quad (1.5)$$

Stupeň časové selektivity musí být takový, aby porucha na předchozím úseku ($n-1$) byla odpojena dříve, než působí ochrana následujícího n -tého úseku. Má být co nejmenší, aby se snížila úroveň časového zpoždění systému nadproudových ochran. Při stanovení Δt se uvažujeme dobu vypnutí $t_{v(n-1)}$ vypínače předcházejícího úseku. Dále uvažujeme celkovou absolutní chybu největší kladnou chybu časového členu ochrany předcházejícího úseku $t_{r(n-1)}$, celkovou absolutní nejvyšší zápornou chybu t_{rn} časového členu následující ochrany. K tomu se ještě uvažuje záložní čas t_z , který zahrnuje nepřesnosti předcházejících činitelů cca 0,1 s. V praxi se tento čas Δt pohybuje v rozmezí 0,25 až 0,5 s podle typu ochran a vypínačů.

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad (1.6)$$

Rozběhový proud I_r musí být větší než největší dovolené zatížení vedení.

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (1.7)$$

Zde je proud I_n největší dovolené zatížení vodičů vedení (generátoru, transformátoru), k_p je přídržný poměr relé (0,85 až 0,95 u elektromechanických relé), k_b je koeficient bezpečnosti a volí se v rozmezí 1,1 až 1,35 a p_i je jmenovitý převod jistících transformátorů proudů.

Dále rozběhový proud I_r musí být menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku pro omezený provozní stav zapojení sítě. U sítí VN je nejmenší zkratový proud při dvoupólovém nezemním zkratu. Aby relé na konci chráněného úseku spolehlivě reagovalo, musí být splněna následující podmínka pro proud I_r .

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c \cdot p_i} \quad (1.8)$$

Zde je I_{kmin} nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku, kde konec chráněného úseku je dán délkou zálohování. Koeficient citlivosti k_c se volí zpravidla na základě zkušeností $k_c \geq 1,5$. Mohlo by se zdát, že se jedné o příliš velkou rezervu, avšak je třeba zvážit, že zapojení rozvodné sítě včetně zapojení zdrojů se v důsledku revizí, generálních oprav a poruch stále mění. Tím pádem se mění i velikosti zkratových proudů.

Je třeba také koordinovat proudové nastavení ochran v úsecích řazených za sebou. Zde platí zásada, že ochrana blíže ke zdroji nesmí být citlivější než ochrany vzdálenějších úseků. Za předpokladu, že má síť pouze jeden zdroj, musí být splněna níže uvedená podmínka pro proudové nastavení I_{rn} v úseku n .

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) \cdot I_{r(n-1)} \quad (1.9)$$

Při proudovém nastavení ochran musíme uvažovat zkratový proud, který v místě připojení ochrany skutečně protéká (tzv. koeficient větvení) například při ochraně paralelních vedení. [4]

1.7.4. Podpětové blokování nadproudových ochran

Podpětovou ochranou můžeme zvětšit selektivitu nezávislých nadproudových ochran. Nadproudová ochrana vypíná tehdy, když klesne napětí v místě jejího připojení pod nastavenou velikost. pokles napětí je závislý na vzdálenosti místa zkratu. Nastavení působení podpětové ochrany je teoreticky určeno vztahem:

$$U_r \leq \left| \frac{Z_1}{Z_s + Z_1} \right| \cdot U_i \quad (1.10)$$

Kde napětí U_r je rozběhová hodnota podpětového relé při zkratu na konci chráněného úseku o impedanci Z_1 , Z_s je náhradní impedance napájecí soustavy a U_i je vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy. V praxi musí rozběhové napětí podpětového relé splňovat určité podmínky. Ochrana nesmí působit při minimálním pracovním napětí U_{min} v místě jejího připojení. Má spolehlivě pracovat při zkratech po celé délce chráněného úseku vedení. Zkušenosti ukazují, že u vedení "dlouhých", napájených z velkých zdrojů je citlivost podpětových relé nedostatečná. Proto nadproudové nezávislé ochrany s odblokováním na podpětí jsou vhodné pro vedení elektricky krátká. Nejsou také vhodné pro sítě s velkými asynchronními motory. Tam vyhovují pouze ochrany distanční nebo rozdílové. Nadproudová ochrana s blokováním na podpětí nepůsobí při přetíženích, která nejsou doprovázena snížením napětí. Je tedy více citlivější na zkratové proudy než obyčejná nadproudová ochrana. Proto je vhodná na silně zatížená krátká vedení. [4]

1.7.5. Závislé nadproudové ochrany

U nezávislých NO je časové zpoždění na začátku a konci chráněného úseku konstantní. Pokud však máme selektivně chránit vedení složené z více úseků, dostáváme dlouhé vypínací časy u zdrojů. Výhodou závislých NO je, že zkracují dobu vypnutí na začátku vedení.

Uvažujme následující charakteristiku ZNO:

$$(I - I_\infty) \cdot t = K \quad (1.11)$$

Kde I_∞ je určeno jmenovitým proudem chráněného objektu a K je nastavení ochrany. Zkratový proud na začátku chráněného úseku určíme ze vztahu:

$$I_z = \frac{U_i}{Z_s} \quad (1.12)$$

Zde je impedance Z_s je impedancí napájecí soustavy. Zkratový proud na konci chráněného úseku o impedanci Z_1 určíme pomocí vztahu:

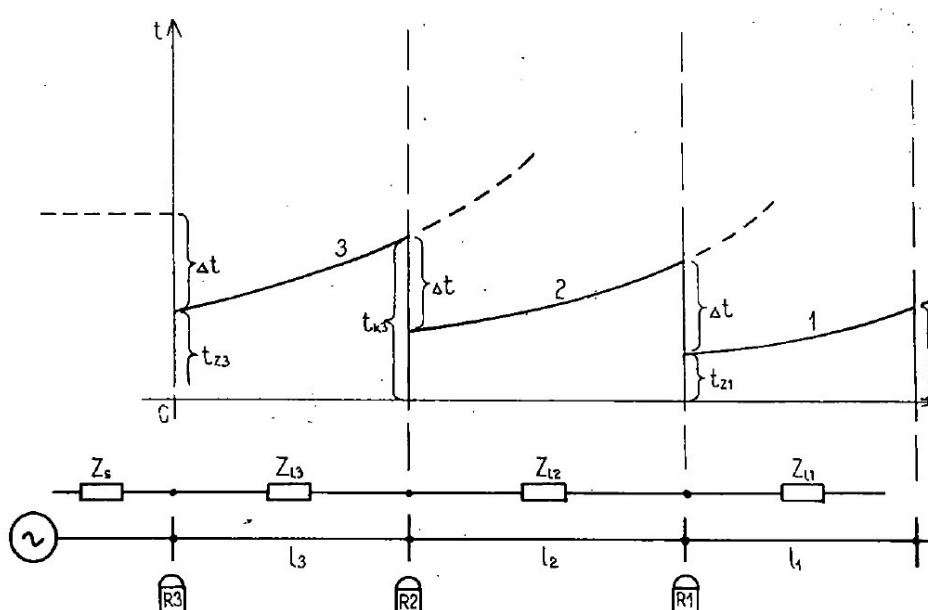
$$I_k = \frac{U_i}{|Z_s + Z_1|} \quad (1.13)$$

Pokud budeme pro zjednodušení uvažovat $I_\infty = 0$, pak můžeme určit vypínací časy na začátku a konci vedení:

$$t_z = \frac{K}{I_z} = \frac{K \cdot \bar{Z}_s}{U_i} \quad (1.14)$$

$$t_k = \frac{K}{I_k} = \frac{K \cdot |\bar{Z}_s + \bar{Z}_l|}{U_i} \quad (1.15)$$

Z vypínacího plánu je vidět časové odstupňování jednotlivých ochran sítě proti sobě, abychom dosáhli požadované selektivity. ZNO se používají nejčastěji v paprskovitých sítích VN, kde je uzel transformátoru uzemněn přes odpor. [4]



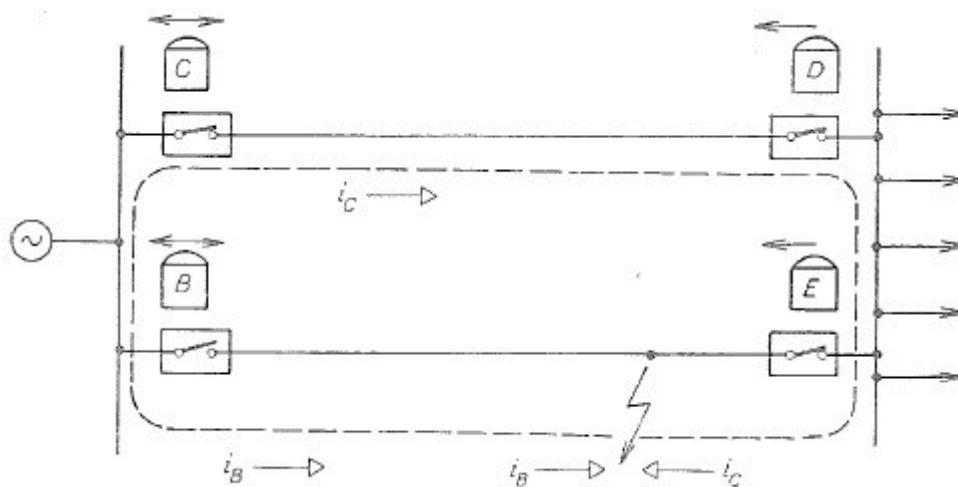
Obr. 6 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [4]

Všeobecně nelze na úsecích jednoho paprsku vzájemně kombinovat nadproudová závislá relé s nezávislými, poněvadž jejich vypínací charakteristiky by se mohly vzájemně protínat, což by vedlo k náhodnému vypínání. Z těchto důvodů se u nás nejčastěji používají ochrany nezávislé, kde je vypínací čas přesně definován a nemění se s proudem. Tím pádem se vyhneme problémům při dodržení selektivity nadproudových ochran. [4]

1.7.6. Směrové proudové ochrany

Proudová ochrana může být vybavena směrovým členem. Směrový člen je zvláštní případ distančního členu s přímkovou charakteristikou. taková ochrana působí pouze v jednom směru zkratového proudu, a to tehdy, je-li zkrat před ochranou. Na obrázku (Obr. 7) dvojité vedení se zkratem mezi B a E. Ochrany B, C jsou blíže ke zdroji, a proto mají větší zpoždění. Jsou-li ochrany D, E nadproudové nesměrové, dojde k neselektivnímu vypnutí obou větví. Je proto vhodné použít ochrany

D, E směrové s nastavením směrové citlivosti. Pak působí ochrana E, která přeruší proud i_c . Po ní se zpožděním působí ochrana B. Druhé vedení (na kterém není porucha) zůstává v provozu. [3]



Obr. 7 Použití směrových ochran na paralelním vedení. [3]

Je-li vedení napájeno oboustranně, nestačí jednostranné nasazení směrových ochran jako v předchozím případě. [3]

1.7.7. Mžikové ochrany

Působí při překročení nastaveného proudu i_k bez zpoždění, tj. v čase asi 10 ms pro dnešní typy ochran. Jsou vhodné u radiálních vedení, které mají velké délky (impedance) jednotlivých chráněných úseků a prakticky konstantní (tvrdé) napětí napáječe. Značně rozdílné zkratové proudy na koncích jednotlivých chráněných úseků jsou podmínkou pro jejich selektivní působení. Mžiková ochrana však z důvodu selektivity nemůže chránit celou délku vedení, což je její nevýhoda. Úsek vedení chráněný touto ochranou se stanoví podle vztahu:

$$x = \frac{X}{X_B} = \frac{1}{X_B} \cdot \left(\frac{U_f}{I_r} - X_s \right) \quad (1.16)$$

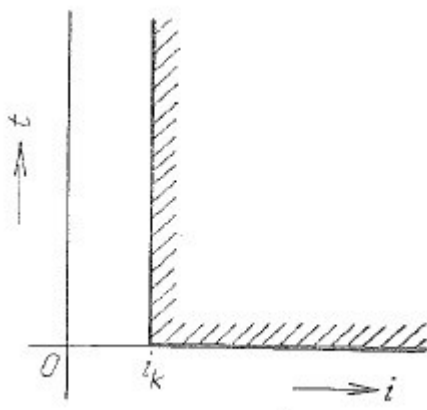
Kde x , X je poměrná, respektive skutečná reaktance chráněného úseku (dosah ochrany).

X_b je celková reaktance chráněného vedení o délce l .

I_r je proud nastavený na ochraně převedený na primární stranu transformátoru proudu.

U_f značí fázové napětí na přípojnicích, z kterých odchází chráněné vedení

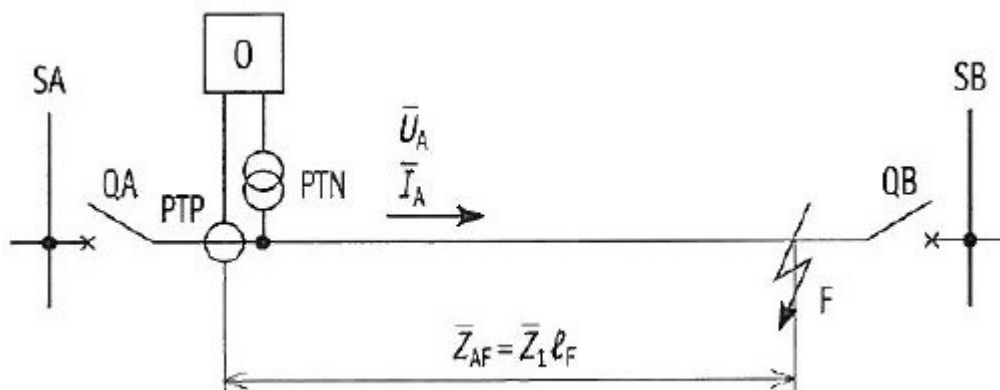
X_s je reaktance systému na přípojnicích, z kterých odchází chráněné vedení. Jinými slovy je to reaktance náhradního zdroje napájecího systému. [2,3]



Obr. 8 Charakteristika mžikové ochrany. [3]

1.7.8. Distanční ochrany

Distanční ochrany vedení měří impedanci poruchové smyčky od místa zabudování ochrany po místo poruchy. Mohou být konstrukčně řešeny tak, že budou reagovat na jiné parametry, než je impedance, např. budou reagovat na reaktanci, činný odpor nebo admitanci. Závisí to na vhodném výběru parametrů pro jejich činnost. Impedanční princip chránění vedení spočívá na sledování podílu poruchových veličin (napětí a proudu) v místě zabudování ochrany. Podíl zkratového napětí \bar{U}_A a proudu \bar{I}_A reprezentuje impedanci poruchové smyčky \bar{Z}_{AF} v primárních hodnotách. [1]



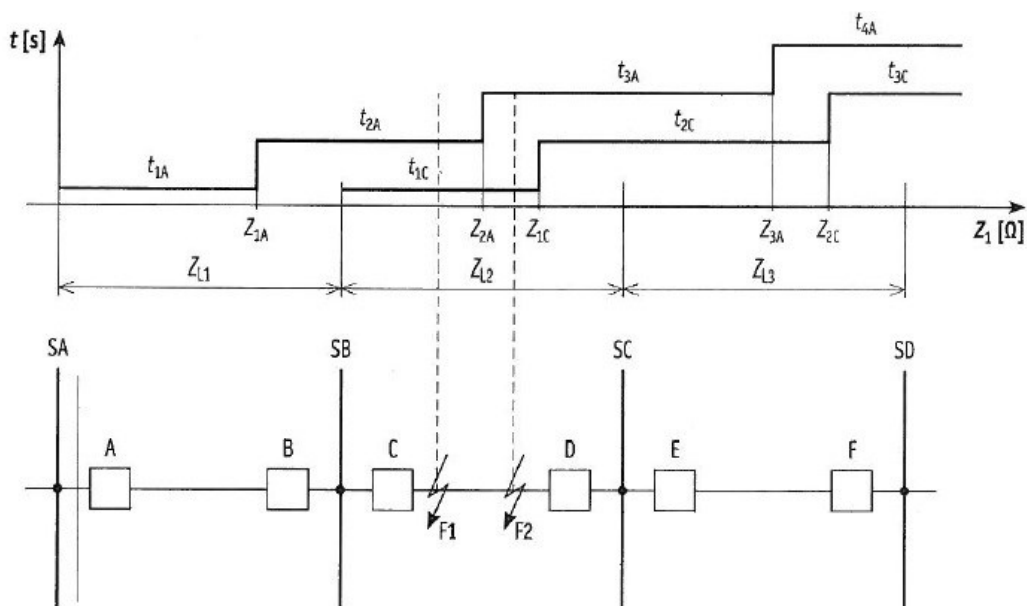
Obr. 9 Měření impedance poruchové smyčky. [1]

Velikost impedance chráněného obvodu kontroluje impedanční měřící člen ochrany. Čas vypnutí poruchy t je přiřazený na základě velikosti poměru napětí a proudu při zkratu., tedy na základě změřené impedance. Pro činnost impedanční ochrany můžeme použít vztah:

$$t = f\left(\frac{\bar{U}_A}{\bar{I}_A}\right) = f(\bar{Z}_{AF}) \quad (1.17)$$

Měření impedance poruchové smyčky zdokonaluje princip chránění vedení, protože v sobě integruje současně změny dvou poruchových veličin, a to pokles napětí při současném nárůstu proudu.

Impedance poruchové smyčky klesá směrem k místu zabudování ochrany. Při zkratu přímo v elektrické stanici, tedy v blízkosti distanční ochrany, může velikost impedance dosáhnout nulové hodnoty (kovový zkrat). Impedanční kritérium se na vedeních využívá tak, že blízké poruchy se vypínají prakticky okamžitě a vzdálenější s časovým odstupňováním. Tvar vypínací charakteristiky je tedy obrácený v porovnání s řešením selektivity vypínání pomocí nadproudových ochran.



Obr. 10 Vypínací plán distanční ochrany. [1]

Čárkovaná oblast (Obr. 8) nemůže být nastavená na impedanci odpovídající 100 % délky vedení. Důvodem je skutečnost, že impedanční měřící člen vykazuje chybu měření, která má typickou hodnotu $\pm 5\%$ z impedančního nastavení. Přesah v měření impedance ochrany A, např. při blízkém zkratu F na vedení mezi stanicemi SB-SC, by způsobil neselektivní působení ochrany A. Z toho důvodu se zóna Z1, v které DO pracuje v rychlém čase t_{1A} , zkracuje na 80 % až 90 % délky vedení. Tímto řešením dochází k tomu, že poruchy v oblasti od konce zóny Z1 po přípojnici stanice B nejsou vypínány okamžitě, ale s časovým zpožděním t_{2A} . Tato oblast vedení patří už do zóny Z2, která je vypínána v čase t_{2A} . Vzhledem na vypínací čas t_{1C} ochrany C při zkratu F1 je potřebné dodržet časový selektivní stupeň mezi ochranou A v zóně Z2, který je minimálně 0,3 s.

Tyto ochrany mají uplatnění při chránění složitých sítí ZVN, VVN a VN. Složité sítě vznikají jednak koncentrací zdrojů s velkými výkony, a také postupným zahušťováním vedení v důsledku různého propojení jednotlivých elektrických stanic. [1]

1.7.9. Automatiky opětovného zapínání

Všechny možné poruchy vyskytující se na venkovních vedeních dělíme na přechodné a trvalé. Většina těchto poruch podle statistik různých sítí je přechodného charakteru. Z celkového počtu poruch připadá na přechodné poruchy 75 až 95 %. Přechodná porucha je taková, která po odpojení napětí z vedení za krátkou dobu zmizí a izolační stav vedení se obnoví jako před poruchou. Proto se vyvinuly automatiky opětovného zapínání, které spolupracují s ochranami. Obě dvě zařízení společně

zkoumají charakter poruchy. K definitivnímu vypnutí dojde pouze v případě trvalé poruchy. Při činnosti této automatiky je sice dodávka elektrické energie na krátký čas přerušena, ale spojitost provozu je zachována. U vedení VN se používají třífázové automatiky. U vedení VVN se používají jednofázové i třífázové. V sítích VN se používá také automatika, která je určena pro pomalé zapínání vypínačů. Z důvodu sledování kvalitativních ukazatelů se čas nastavuje na 25 s. Její činnost je v principu podobná jako při automatice rychlého opětovného zapnutí. [1]

Tato automatika se používá u venkovních vedení. U kombinovaných vedení (tj. kabel a venkovní vedení) se použije pouze tam, kde kabel tvoří velmi krátký úsek nacházejícího se jako celek na území elektrické stanice (např. vývody z transformátorů, reaktorů, zapouzdřených rozveden apod.).

Při použití opětovného zapnutí se musí přihlídnout k zapojení příslušného vedení ES, aby nemohlo dojít k narušení stability ES nebo k nepřipustnému torznímu namáhání hřídele připojených soustrojí. Z hlediska počtu cyklů ji lze rozdělit na jednorázové a vícenásobné. U vedení VN se volí obvykle 1 nebo 2 cykly (první cyklus rychlý nebo pomalý, případný druhý cyklus zpravidla pomalý). AOZ je spouštěna působením první nebo druhé hlavní ochrany (tj. té ochrany, která působí nejrychleji), pokud je vedení chráněno ochranami ve funkci první nebo druhé ochrany. AOZ musí být blokováno vždy, nejsou-li splněny podmínky pro úspěšné zapnutí a obnovení provozu vedení nebo je-li činnost automatiky z jiných důvodů nežádoucí (působení záložních ochran, nepřipravenost vypínače, vypnutí nebo zapnutí zásahem obsluhy apod.). Automatiku musí být možné vyřadit z provozu a opět zařadit jednoduchým způsobem. [6]

1.7.10. Zemní ochrany

Zemní spojení může vzniknout v sítích s izolovaným uzlem transformátoru nebo spojením se zemí přes velkou impedanci (zpravidla Petersonovu cívku). V České republice se tímto způsobem provozují hlavně sítě VN, které jsou zpravidla jednostranně napájené. Ke zjištění zemního spojení můžeme využít několika jevů, kterými je tento stav doprovázen. Je to výrazný pokles fázového napětí postižené fáze, zvýšení fázových napětí nepostižených fází, vznik nulové složky napětí (tj. napětí mezi uzlem transformátoru a zemí (při poruše až fázová hodnota) a vznik nulové složky proudu, což je třetina poruchového proudu tekoucí místem zemního spojení. Pro hlášení zemního spojení se nejčastěji používá napěťové relé, které působí na nulovou složku napětí. Nulovou složku napětí získáme zapojením sekundárního vinutí jistících transformátorů napětí do otevřeného trojúhelníku. Takto snadno získáme informaci o vzniku zemního spojení v síti napájené transformátorem 110 kV/VN, avšak bez bližší informace, na kterém vedení (vývodu) vzniklo. Pokud vedení nejsou vybaveny ochranami pro selektivní vypínání při zemním spojení, je jednodušší zjištění postiženého vedení postupným vypínáním až zemní spojení zmizí. Pro selektivní vypínání vedení postiženého zemním spojením se vychází ze skutečnosti, že nulová složka zemního proudu teče u zdravých vedení směrem do přípojníc, kdežto u postiženého vedení ven z přípojníc. Směr toku nulové složky proudu se zjistí použitím součinného měřícího členu, na jehož vstup přivádíme nulovou složku napětí a proudu. Podle způsobu provozu sítě pro určení směru toku nulové složky proudu používáme jalové nebo wattové relé. U nekompensovaných sítí se používá jalové relé a kompenzované sítě používají wattové relé. U kompenzovaných sítí protéká místem zemního spojení pouze zbytkový proud, jehož velikost závisí na odporech kompenzační tlumivky, vedení a transformátoru. Tento proud je prakticky při dobrém naladění tlumivky ve fázi

s nulovou složkou napětí. Měřicí wattové relé musí být citlivé, protože zbytkový proud je malý a na sekundárním vinutí může být v miliampérech. Pro zlepšení činnosti wattového relé se používá odporník, který se krátkodobě paralelně připojuje k tlumivce (vyvolá činný proud, který teče pouze postiženým vedením). U kompenzovaných venkovních vedení můžeme připustit po jistou dobu provoz se zemním spojením, a to do doby zajištění náhradního napájení spotřebitele nebo do vyčerpání tepelné kapacity tlumivky.

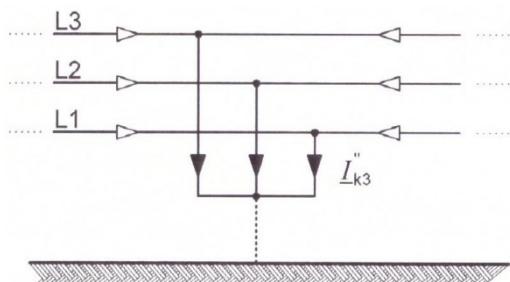
U kabelových sítí zkušenosti ukazují, že se zemní spojení zpravidla rozšíří ve dvou či trojpólový zkrat nebo ve dvojí zemní spojení v důsledku zvýšeného namáhání nepostižených fází zvýšeným napětím. Proto je nutné rychlé vypnutí postiženého kabelu. [4]

Pro menší kabelové nebo smíšené sítě se běžně používá tlumivka. Pokud je ale kabelová síť velká, již se nedá kompenzovat a používá se odporník v uzlu transformátoru (sítě IT(r)). Jednofázová porucha vyvolá proud, který je podstatně menší než při jednofázové poruše v uzemněné síti TT(r), ale musí se vypnout.

2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

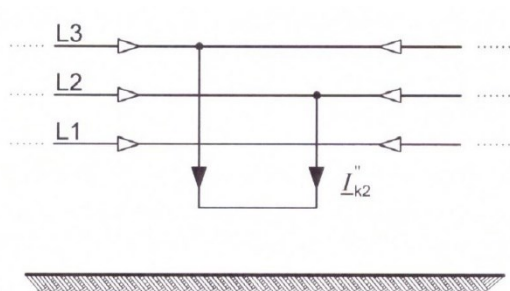
2.1. Základní definice

Zkrat je náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi (např. trojfázový zkrat) vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.



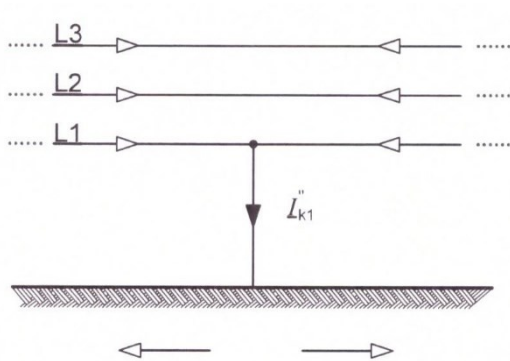
Obr. 11 Souměrný trojfázový zkrat. [5]

Mezifázový zkrat (dvoufázový zkrat) je náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodiči se spojením na zem nebo bez něj.



Obr. 12 Dvoufázový zkrat (bez zkratu na zem). [5]

Zkrat mezi fází a zemí (jednofázový zkrat) je náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi vodičem a zemí v soustavě s uzlem uzemněným přímo nebo přes malou impedanci.



Obr. 13 Jednofázový zkrat. [5]

Zkratový proud je nadproud vzniklý v důsledku zkratu v elektrické soustavě.

Předpokládaný zkratový proud definujeme jako proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení.

Souměrný zkratový proud I_k'' je efektivní hodnota střídavé zkratové složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbatelnou eventuální aperiodickou složkou proudu.

Počáteční souměrný rázový zkratový proud definujeme jako efektivní hodnotu střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon S_k'' popisuje pomyslnou hodnotu definovanou jako součin počátečního rázového zkratového proudu I_k'' , jmenovitého napětí sítě a součinitele $\sqrt{3}$. Pak tedy platí následující vztah:

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' \quad (2.1)$$

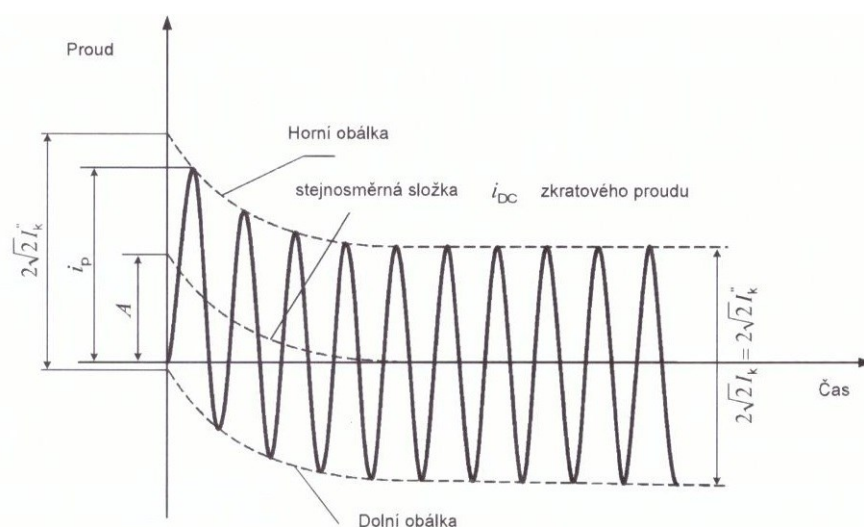
Stejnoseměrná (aperiodická) složka zkratového proudu I_{DC} je střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule.

Ustálený zkratový proud I_k definujeme jako efektivní hodnotu zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodového jevu.

Jmenovité napětí sítě U_n popisujeme jako sdružené napětí, kterým je soustava označena a k němuž se vztahují určité provozní charakteristiky.

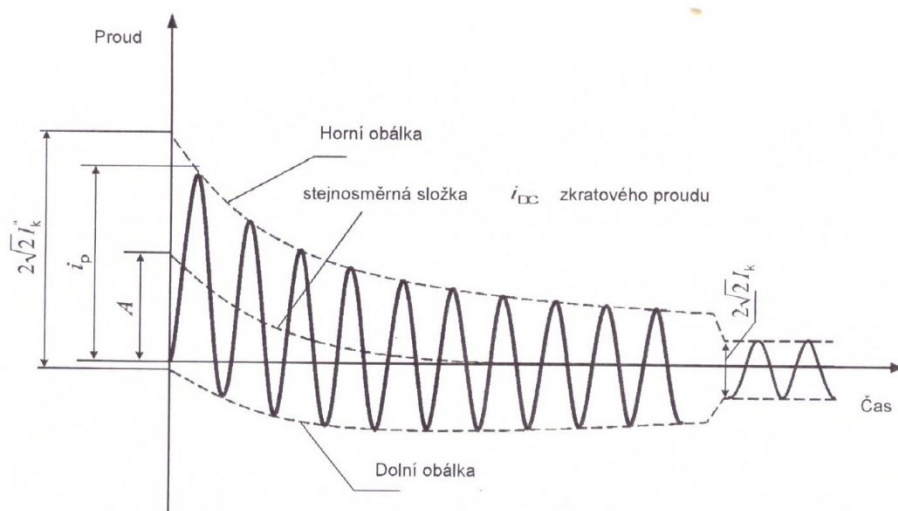
Napěťový součinitel c je poměr mezi napětím ekvivalentního napěťového zdroje a jmenovitým napětím sítě U_n děleným $\sqrt{3}$. Zavedení napěťového činitele je nutné z důvodů kolísání napětí v závislost na čase a místě, přepínání odboček transformátoru, zanedbání zátěže a kapacitních reaktancí a také chování generátorů a motorů při přechodném ději.

Elektricky vzdálený zkrat definujeme jako zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní.



Obr. 14 Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou. [5]

Elektricky blízký zkrat je zkrat, při kterém se zmenšuje velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu.



Obr. 15 Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou. [5]

Zkratová impedance Z_k (trojfázová soustava) vyjadřuje zkrácené označení pro souslednou zkratovou impedanci $\bar{Z}_{(1)}$ (výpočet proudů při trojfázovém zkratu).

Zpětná zkratová impedance $\bar{Z}_{(2)}$ (trojfázová soustava) popisuje impedanci zpětné složkové soustavy viděná v místě zkratu.

Netočivá zkratová impedance $\bar{Z}_{(0)}$ (trojfázová soustava) je impedance netočivé složkové soustavy viděná z místa zkratu. [5]

2.2. Zjednodušující předpoklady výpočtu

Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů vychází z několika zjednodušení. Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází na zemi zůstává po celou dobu zkratu mezi fází a zemí. Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti. Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. Odpory oblouku se neuvažují. Paralelní admitance netočivých zátěží jsou zanedbány v sousledné, zpětné i netočivé složkové soustavě. Kapacity vedení jsou zanedbány v sousledné a zpětné složkové soustavě. Kapacity vedení v netočivé složkové soustavě musí být uvažovány v sítích s uzlem spojeným se zemí přes nízkou impedanci, ve kterých je činitel zemního spojení vyšší než 1,4. Magnetizační admitance transformátorů jsou zanedbány v sousledné, zpětné i netočivé složkové soustavě. I když tyto předpoklady pro uvažované elektrické soustavy neplatí zcela přesně, výpočty zajišťují dostatečnou přesnost výsledků. [5]

2.3. Souměrné složky

Výpočet hodnot proudů v trojfázových střídavých soustavách při souměrných a nesouměrných zkratech se zjednoduší použitím souměrných složek. předpokládá se přitom, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu, například v případě transponovaných venkovních vedení. Výsledky výpočtu zkratových proudů mají přijatelnou přesnost také v případě netransponovaných venkovních vedení.

Při použití této metody se zjistí proudy v každé fázi superponováním proudů tří souměrných

složkových soustav. Jedná se o proud sousledné složkové soustav $\bar{I}_{(1)}$, proud zpětné složkové soustavy $\bar{I}_{(2)}$ a proud netočivé složkové soustavy $\bar{I}_{(0)}$.

Budeme-li fázi L_1 považovat za referenční, potom určíme proudy I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} následovně:

$$\bar{I}_{L1} = \bar{I}_{(1)} + \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} \quad (2.2)$$

$$\bar{I}_{L2} = \bar{a}^2 \cdot \bar{I}_{(1)} + \bar{a} \cdot \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} \quad (2.3)$$

$$\bar{I}_{L3} = \bar{a} \cdot \bar{I}_{(1)} + \bar{a}^2 \cdot \bar{I}_{(2)} + \bar{I}_{(0)} \quad (2.4)$$

Kde:

$$\bar{a} = -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.5)$$

$$\bar{a}^2 = -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.6)$$

Každá z těchto tří souměrných složek soustavy má svoji vlastní impedanci. Hodnoty sousledných a zpětných impedancí se mohou vzájemně lišit v případě točivých strojů a elektrárenských bloků s plnovýkonovým měničem. Mimo zvláštních případů se netočivé zkratové impedance v místě zkratu liší od sousledných a zpětných zkratových impedancí. [5]

2.4. Výpočet zkratových proudů ve fyzikálních jednotkách

Počáteční rázový zkratový proud I''_{k3} při trojfázovém zkratu:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}_{(1)}|} \quad (2.7)$$

Počáteční rázový zkratový proud I''_{k2} při dvoufázovém zkratu:

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{|\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)}|} \quad (2.8)$$

Počáteční rázový zkratový proud I''_{k1} při jednofázovém zkratu:

$$I''_{k1} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|\bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(2)} + \bar{Z}_{(0)}|} \quad (2.9)$$

Tab. 1 Napěťový činitel c. [5]

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{\max}^a	minimálních zkratových proudů c_{\min}
Nízké napětí 100 V až 1 000 V (IEC 60038:2009, Tabulka 1)	1,05 ^c 1,10 ^d	0,95 ^c 0,90 ^d
Vysoké napětí ^b >1 kV až 230 kV (IEC 60038:2009, Tabulky 3, 4)	1,10	1,00
Velmi / zvláště vysoké napětí ^{b,e} >230 kV (IEC 60038:2009, Tabulka 5)	1,10	1,00

^a $c_{\max}U_n$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav
^b Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{\max}U_n = U_m$ nebo $c_{\min}U_n = 0,90 \times U_m$
^c Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí $\pm 6\%$, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V.
^d Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí $\pm 10\%$.
^e Pro jmenovité napětí týkající se $U_m > 420$ kV, nejsou napěťové součinitele v této normě definovány.

Nárazový zkratový proud I_p :

$$I_p = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_k'' \quad (2.10)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} \quad (2.11)$$

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{ke} :

$$I_{ke} = I_k'' \cdot k_e \quad (2.12)$$

Kde:

I_k'' - počáteční rázový zkratový proud.

k_e - součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu. [5,13]

2.4.1. Sousedné parametry prvků

Soustava (trojfázový zkrat):

$$Z_1 = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} \quad (2.13)$$

Při zběžném výpočtu lze uvažovat $Z_{(1)} = X_{(1)}$.

Alternátor:

$$X_{(1)} = \frac{X_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (2.14)$$

Kde:

X_d'' - rázová reaktance alternátoru

U_{nG} - jmenovité napětí alternátoru

S_{nG} - jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru

Reaktor:

$$Z_{(1)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (2.15)$$

Kde:

u_R - impedanční napětí reaktoru

U_n - jmenovité sdružené napětí reaktoru

I_n - jmenovitý proud reaktoru

Rezistenci reaktoru můžeme proti jeho reaktanci zanedbat, neboť je nepatrná ($R = 0,01 \cdot X$), takže

$$Z_{(1)} = X_{(1)}.$$

Transformátor (dvouviňutový):

$$Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad (2.16)$$

$$R_{(1)} = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} \quad (2.17)$$

$$X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2} \quad (2.18)$$

Kde:

u_k - jmenovité napětí na krátko

U_{nT} - jmenovité napětí transformátoru

S_{nT} - jmenovitý výkon transformátoru

P_{knT} - jmenovité ztráty na krátko

Při běžném výpočtu lze uvažovat $X_{(1)} = Z_{(1)}$, $R_{(1)} = 0$.

Vedení:

$$X_{(1)} = X_k \cdot l \quad (2.19)$$

$$R_{(1)} = R_k \cdot l \quad (2.20)$$

$$Z_{(1)} = \sqrt{R_{(1)}^2 + X_{(1)}^2} \quad (2.21)$$

Kde:

X_k - reaktance sousledné složky vedení

R_k – rezistence sousledné složky vedení

l – délka vedení

Asynchronní motor:

$$X_{(1)} = \frac{U_{nM}^2}{i_z \cdot S_{nM}} \quad (2.22)$$

Kde:

i_z – poměrný záběrný proud motoru

U_{nM} – jmenovité napětí motoru

S_{nM} – jmenovitý zdánlivý výkon motoru

Vliv asynchronních motorů lze zanedbat v sítích NN nebo pokud jsou od místa zkratu odděleny dvojí transformací.

Parametry jednotlivých prvků musíme přepočítat na napěťovou hladinu v místě zkratu podle vztahu:

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (2.23)$$

Kde:

Z_1 – impedance na napěťové hladině U_1

Z_2 – impedance přepočtena na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu

Náhradní schéma zpětných složek impedancí je stejné jako náhradní schéma sousledných složek impedancí a také $Z_{(2)} = Z_{(1)}$. [13]

2.4.2. Netočivé parametry prvků

Soustava:

$$X_{(0)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{3}{I_{k1}''} - \frac{2}{I_{k3}''} \right) \quad (2.24)$$

Kde:

U_n – jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

c – napěťový činitel

I_{k3}'' - počáteční rázový zkratový proud soustavy při trojfázovém zkratu

I_{k1}'' - počáteční rázový zkratový proud soustavy při jednofázovém zkratu

Alternátor:

$X_{(0)}$ udává výrobce.

Reaktor:

$$X_{(0)} = X_{(1)} \quad (2.25)$$

Transformátor:

$$X_{(0)} = 0,85 \cdot X_{(1)} \quad (2.26)$$

$$X_{(0)} = X_{(1)} \quad (2.27)$$

První vztah platí pro jádrové transformátory a druhý vztah pro plášťové transformátory.

Vedení:

$$X_{(0)} = (2 \div 5,8) \cdot X_{(1)} \quad (2.28)$$

Zde záleží na napětí a druhu vedení. [13]

3. Popis rozvodny R 22 kV Vsetín

Rozvodna 22 kV je ve vlastnictví ČEZ Distribuce. Je to rozvodna krytá, dvoupodlažní, jednořadá, s pomocným systémem přípojníc. Provedení je typu B (spínače a přípojnice umístěné v jednom prostoru), uspořádání přípojníc je do U s pomocnou přípojnící po obou stranách rozvodny. Propojení spínacích prvků s vlastním vývodem je provedeno kabelovým prostorem, kde jsou také umístěny přístrojové transformátory napětí – mimo měření přípojníc, které je v prvním podlaží. Přístrojové transformátory proudu jsou průchodkové, umístěné v prostupech do kabelového prostoru – kromě příčného spínače přípojníc, který je také realizován v horní části. Zaústění vývodů transformátorů do rozvodny je provedeno stěnovými průchodkami typ: SPSN 8/20/2000A, ostatní vývody GFD 24/400. Připojení přípojníc, spojky SP A-B, T101, T102 je provedeno pásem Al 80x10, ostatní vývody 40x10. Omezovače přepětí MWK 24/10 jsou osazeny v celém rozsahu přívodů a vývodů, vyjma odboček HDO I a HDO 2, MWK18/10 kde jsou osazeny přímo v kiosku statického vysílače. Počet polí je 24 (patnáctkrát pole vývodu, dvakrát pole HDO, jedenkrát pole SPP, jedenkrát pole SP, dvakrát pole trafo, jedenkrát pole pro rezervu, jedenkrát pole TVS a jedenkrát pole měření). Ochrany se nachází v jednotlivých kobkách rozvodny R 22kV.

Vlastní spotřeba je zajištěna dvěma transformátory 22/0,4kV 400kVA T21, T22, které jsou umístěné v přízemí budovy v samostatných trafokomorách. Dále je v přízemí místnost AC/DC vlastní spotřeby s rozvaděči ATK 110 V DC a ATM 24 V AC

Pro napájení DC okruhů slouží dvě akumulátorové baterie 110 V a dvě baterie 24 V, zdrojem zálohovaného napětí pro technologii jsou střídače Tebevert, pro elektroinstalaci 2 x Elteco PS 3075.

Tab. 2 Vybavení polí stávajícími ochranami [11].

Kobka (č.)	Označení	Typ ochrany							
		F111	F121	F151	F281	F341	F342	F371	F372
1	VN1217	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
2	VN223	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
3	VN889	SPAJ140C	-	RY0	-	-	-	-	-
4	VN243	AT31X	A32	RY0	-	-	-	-	-
5	VN32	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
6	HDO2	AT31X	-	-	-	-	-	-	-
7	VN1212	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
8	HDO1	AT31X	-	-	-	-	-	-	-
9	VN231	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
10	VN238	SPAJ140C	-	RY0	OZ 33	-	-	-	-
11	VN61	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
12	SPP	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
13	VN152	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
14	Směr T101	-	-	-	-	-	-	-	-
15	VN141	7SJ62	-	RY0	-	-	-	-	-
16	VN893	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
17	SP	AT31X	-	-	-	-	-	-	-
18	Rezerva 18	AT31X	A32	RY0	OZ 33	-	-	-	-
19	VN890	SPAJ140C	-	RY0	-	-	-	-	-
20	Směr TVS1	-	-	-	-	-	-	-	-
21	VN65	SPAJ140C	-	RY0	OZ 33	-	-	-	-
22	Měření W1+W2	-	-	-	-	GV12	GV12	V15	V15
23	VN227	SPAJ140C	A32	RY0	-	-	-	-	-
24	Směr T102	-	-	-	-	-	-	-	-

Typy ochran:

F111 – nadproudová ochrana.

F121 – zkratová ochrana.

F151 – citlivá zemní ochrana směrová.

F281 – automatika OZ.

F341 – napěťová ochrana 1 na U_0 .

F342 – napěťová ochrana 2 na U_0 .

F371 – podpěťová ochrana 1.

F372 – podpěťová ochrana 2.

Ochrana AT31X

Jedná se o časově nezávislou ochranu nadproudovou ochranu. Obsahuje tři měřící relé ER zvlášť pro každou fázi, čímž se odlišuje od jednofázové AT12X a dvoufázové AT21X. Je doplněna časovým relé TX a koncovým relé RP102.

Základní technické parametry: jmenovitý proud 1 A nebo 5 A, jmenovitý kmitočet 50 HZ nebo 60 HZ, proudová nastavitelnost $0,8I_N$ až $2I_N$, přídržný poměr 0,85 až 0,95 a trvalá přetížitelnost $2,4I_N$.

Ochrana A32

Je zkratová (mžiková) nadproudová ochrana. Obsahuje tři měřící relé s proudovými cívkami a se signalizačními padáčky, umístěné v průhledném krytu. Padáčky se vrací tlačítkem vně skříně. Stupnice relé jsou kalibrovány v násobcích jmenovitého proudu.

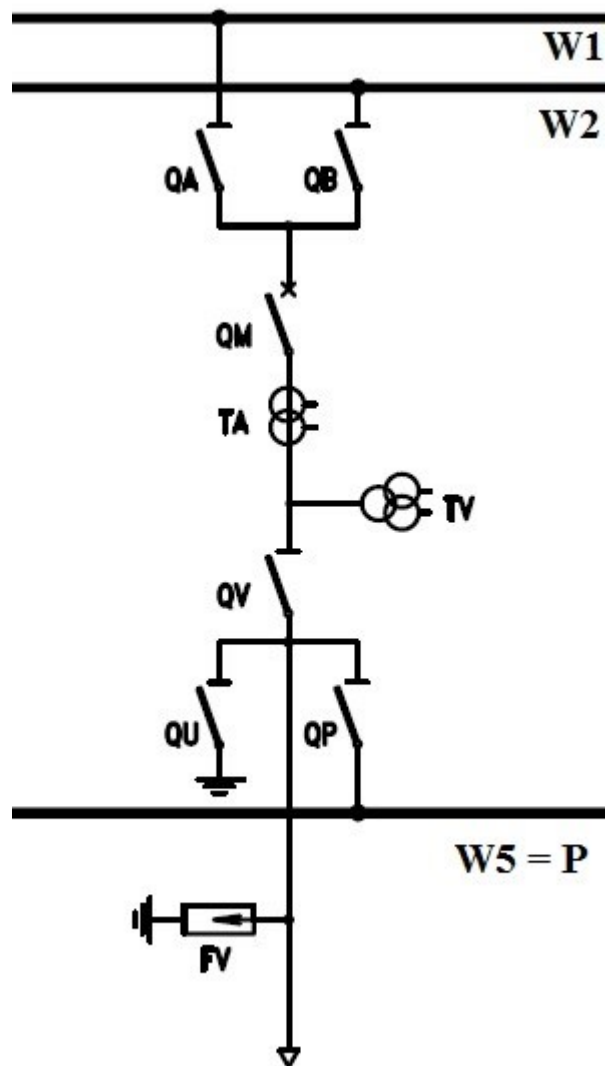
Základní technické parametry: jmenovitý proud 0,1 A až 25 A, jmenovitý kmitočet 50 nebo 60 Hz, nařiditelnost $0,8I_N$ až $2I_N$, přesnost 5 %, přídržný poměr 0,85 až 0,95 a trvalá přetížitelnost $2,4I_N$. [9]

Řídící systém

Současný systém je Mikrodispečink na bázi PC z roku 2016 v provedení embedded. Stavová signalizace je centralizovaná do jednotek MCS, měření je provedeno jednotkami MCS-DCUI. Nachází se v 1NP – místnost č. 109. Komunikace probíhá optickým kabelem, záložní komunikace je typu GPRS. Jako pomocné napětí se používá 230 V AC, 110 V DC a 24 V DC. [11]

Na obrázku níže (*Obr. 16*) je typické schéma jednoho pole, které přivádí elektrickou energii do vedení 22 kV vedoucího z rozvodny.

QA a QB jsou odpojovače umožňující přivést elektrickou energii z přípojnice W1 nebo W2. QM je výkonový vypínač. TA a TV jsou převodníky proudu a napětí. Odpojovač QP umožňuje připojení pomocné přípojnice W5. Ochrana FV chrání proti přepětí.



Obr. 16 Typické schéma zapojení pole napájecí vedení z rozvodny 22 kV Vsetín. [11]

4. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny R22 kV Vsetín

Ochrany budou použity standardní, které používá firma ČEZ při renovaci rozvodů. Jedná se o digitální výrobek firmy Siemens SIPROTEC 7SJ85, který má v sobě sloučený všechny potřebné funkce potřebné pro chránění vedení včetně automatiky opětovného zapnutí. Přístroje SIPROTEC se nasazují ve všech oblastech energetiky – od výroby přes přenos, transformaci až po distribuční síť. Provozovatelům umožňují spolehlivou a bezpečnou ochranu a řízení sítí a zároveň slouží jako základ pro zavádění efektivních řešení všech úkolů, které jsou kladeny na moderní a chytré přenosové soustavy. Uživatelé mohou libovolně kombinovat jednotky různých řad SIPROTEC k řešení rozmanitých úkolů.

Konstrukce ochrany je založena na nejmodernější hardwarové platformě. Ta je základem pro objektově orientovanou strukturu aplikačních funkcí, která se neustále rozšiřuje podle požadavků na chránění, řízení a sledování kvality sítě systémů VN a VVN. Hardware i software jsou vysoce modulární a flexibilní, díky čemuž je možno reagovat na měnící se požadavky v průběhu životního cyklu daného zařízení, přičemž dané změny HW i SW je možno provádět i uživatelsky.

S ohledem k výkonným procesorům poslední generace, modulární hardwarové a softwarové stavbě a robustnímu inženýringovému nástroji je určena pro chránění, řízení, měření a monitorování energetických systémů. Funkční integrace jde však vysoce nad rámec výše uvedeného. Umožňuje měření a komunikaci synchronních fázorů, sledování parametrů kvality sítě, ukládání poruchových záznamů apod. Na SW úrovni jsou k dispozici aplikační předlohy, ve kterých jsou připraveny typické úlohy chránění a řízení od nejjednodušších až po velmi komplexní (chránění autotransformátoru, phase-shifteru apod.). Tyto předlohy se neustále doplňují v závislosti na vývoji i na zkušenostech z praktických aplikací. [7]

4.1. Hlavní vlastnosti ochrany

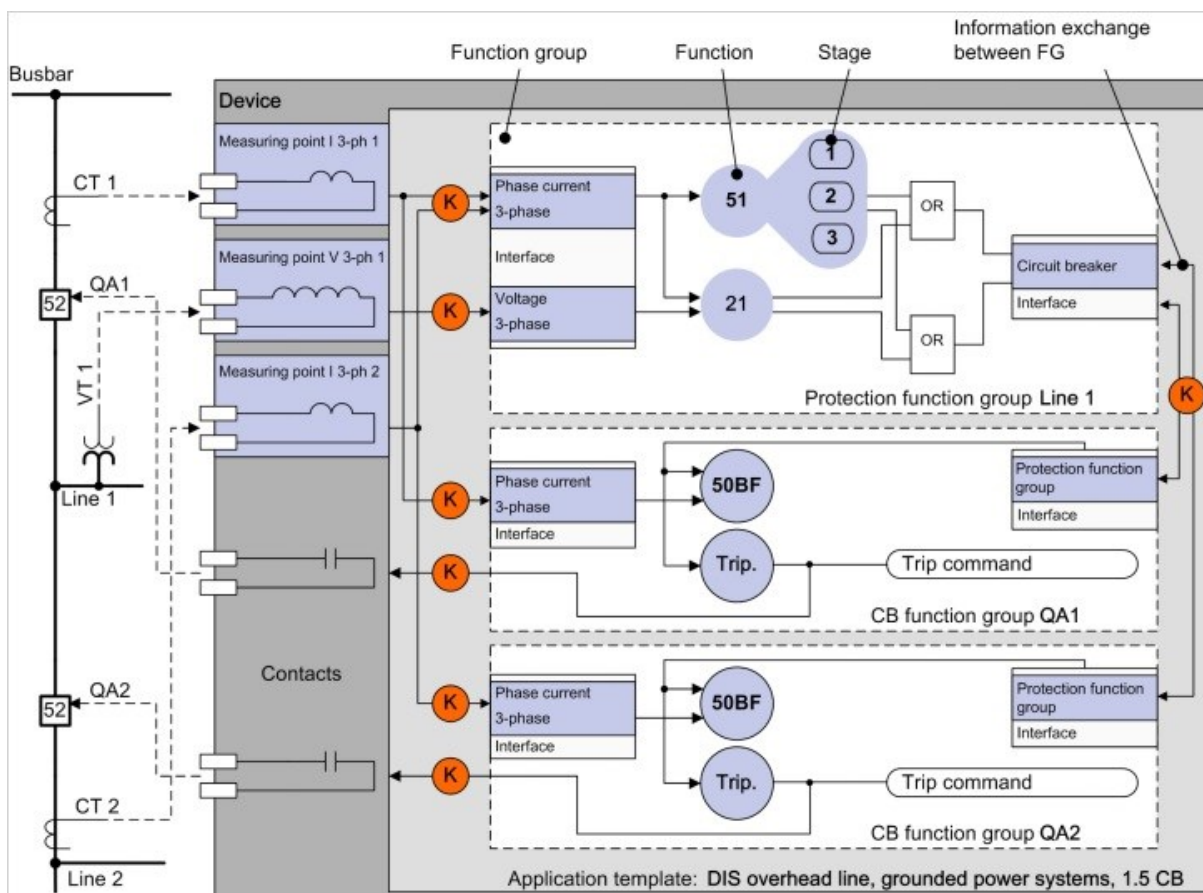
Obsahuje výkonný mikroprocesor. Má plně digitální zpracování a řízení měřených hodnot, od vzorkování a digitalizace měřených veličin až po rozhodnutí o zapnutí a vypnutí jističe. Má úplné galvanické a nerušivé oddělení interních obvodů zpracování od systému. Obsahuje měřicí, řídicí a napájecí obvody zapojené přes přístrojové transformátory, binární vstup a výstup, moduly a měniče stejnosměrného a střídavého napětí. Lze ji snadno ovládat pomocí integrovaného ovládacího a zobrazovacího panelu nebo pomocí připojeného osobního počítače s uživatelským rozhraním. Je možné kontinuální zobrazení naměřených a naměřených hodnot na přední části. Umožňuje ukládání minima/maxima naměřených hodnot a ukládání dlouhodobých středních hodnot. Má funkci uložení indikací poruch pro systémové události (poruchy v systému) s přiřazením v reálném čase a okamžitými hodnotami pro záznam poruch. Má možnost nepřetržitého sledování měřených veličin, hardwaru a softwaru zařízení. Dokáže komunikovat s centrálním řídicím a paměťovým zařízením prostřednictvím rozhraní zařízení. Obsahuje hodiny s napájecí baterií. [8]

4.2. Skupiny funkcí

Funkce jsou uspořádány do funkčních skupin. To zjednodušuje manipulaci s funkcemi (přidávání a kopírování). Funkční skupiny jsou přiřazeny primárním objektům, jako je vedení, transformátor nebo jistič.

Skupiny funkcí seskupují funkce s ohledem na následující základní úkoly:

- Přiřazení funkcí proudovým anebo napěťovým transformátorům (přiřazení funkcí měřicím bodům, a tedy chráněnému objektu).
- Výměna informací mezi funkčními skupinami. [8]



Obr. 17 Vkládání funkcí pomocí funkčních skupin. [8]

4.3. Mikropočítačový systém

Všechny funkce zařízení jsou zpracovávány v systému mikropočítače. To zahrnuje například:

- Filtrování a příprava měřených veličin.
- Neustálé sledování měřených veličin.
- Monitorování podmínek náběhu pro jednotlivé ochranné funkce.
- Dotaz na mezní hodnoty a časové limity.
- Řízení signálů pro logické funkce.

- Rozhodnutí o povelu k zapnutí a vypnutí.
- Uložení indikací, dat poruch a hodnot poruch pro analýzu poruch.
- Správa operačního systému a jeho funkcí, jako je ukládání dat, hodiny reálného času, komunikace, rozhraní atd.
- Externí distribuce informací. [8]

4.4. Možnosti chránění

V této podkapitole jsou popsány některé základní ochranné funkce, které ochrana 7SJ85 nabízí. Ve skutečnosti jsou možnosti chránění ještě mnohem rozsáhlejší.

Mžiková zkratová ochrana

Má za úkol nezpožděné vypnutí při zapnutí do existující poruchy (např. v případě založeného uzemňovače), a nezpožděné vypnutí velkých proudů nad nejvyšším nadproudovým stupněm. Pracuje se dvěma různými měřicími metodami, a to měření základní harmonické nebo vyhodnocení nefiltrovaných měřených veličin.

Nadproudová ochrana

Detekuje zkraty na elektrickém zařízení. Nasazuje se jako záložní nadproudová ochrana vedle hlavní ochrany.

K dispozici jsou dva druhy funkce pro třífázovou nadproudovou ochranu. První je funkce základní (basic). Tento funkční typ je určen pro standardní aplikace. Druhý funkční typ je nadproudová ochrana – rozšířená (advanced). Oba funkční typy jsou z výroby konfigurovány se dvěma nezávislými stupni NO a jedním závislým stupněm NO. Současně lze provozovat 4 stupně nezávislé NO a 1 stupeň závislé NO. Rozšířený funkční typ umožňuje ještě použít jeden stupeň uživatelsky definované charakteristiky NO.

Citlivá detekce zemních spojení

Pro detekci zemních spojení se nabízejí dvě funkce. Směrová, která se nasazuje, pokud je vedle nulového proudu $3I_0$ k dispozici také nulové napětí U_0 , a nesměrová, která se nasazuje, pokud je k dispozici jen nulový proud $3I_0$.

Směrová citlivá detekce zemních spojení slouží pro směrovou detekci trvalých zemních spojení v izolovaných nebo zhašených sítích a pro směrovou detekci rychle zhasínajících zemních spojení (přechodných) v izolovaných nebo zhašených sítích. Umožňuje detekci vysokoohmových zemních zkratů v efektivně (tvrdě) nebo nízkoohmově (odporově) zemněných sítích.

Směrová nadproudová ochrana

Chrání elektrické zařízení proti zemním zkratům. Může se použít jako záložní ochrana vedle hlavní ochrany. zajišťuje selektivní detekci poruchy u jednostranně napájených paralelních vedení nebo transformátorů. U oboustranně napájených konců vedení nebo u kruhově zapojených vedení zajišťuje selektivní detekci poruch.

Současně lze provozovat maximálně 4 stupně nezávislé NO a 1 stupeň závislé NO. U rozšířeného funkčního typu (advanced) lze ještě provozovat jeden stupeň s uživatelsky definovanou charakteristikou.

Automatika OZ

Automatické opětné zapnutí se může provádět vnější automatikou opětného zapnutí přes binární vstup. Může být ovládána integrovanou ochrannou funkcí nebo vnější ochranou. Je dovolena jen u venkovních vedení, protože jen zde existuje možnost samovolného zhasnutí zkratového oblouku. Automaticky zapíná venkovní vedení po obloukových zkratech. Integrovaná automatika umožňuje až 8 pokusů o opětovné zapnutí. Přitom každý z 8 cyklů přerušení může pracovat s různými cykly. [10]

5. Návrh nastavení elektrických ochran v rozvodně R 22kV Vsetín

5.1. Reaktance zdroje a transformátorů

Pro výpočet zkratových proudů je třeba nejprve určit reaktanci zdroje a transformátoru. V tomto případě mají oba transformátory T101, T102 stejné parametry a vždy pracuje pouze jeden a druhý je jako záložní v případě poruchy prvního. K dispozici jsou hodnoty zkratového výkonu a proudu na straně 110 kV. Je tedy potřeba přepočítat reaktanci ze 110 kV na hodnoty na straně 22 kV. K tomu se přičte reaktance transformátoru a tímto postupem jsou získány první hodnoty potřebné pro další výpočty.

Tab. 3 Parametry transformátorů.

-	T101	T102
S_{nT} (MVA)	50	50
U_{n1T} (kV)	110,0	110,0
U_{n2T} (kV)	23,0	23,0
u_k (%)	11,5	11,5

Tab. 4 Hodnoty zkratových proudů a výkonů.

napětí 110	S_{ks3}	I_{ks3}	S_{ks1}	I_{ks1}
(kV)	(MVA)	(kA)	(MVA)	(kA)
max	926,20	4,86	723,60	3,80
min	305,50	1,60	218,30	1,15

Reaktance na straně 110 kV:

Pro výpočet je využito znalosti třífázového zkratového proudu na straně 110 kV.

$$X_{Smin110} = \frac{c \cdot U_{N110}}{\sqrt{3} \cdot I_{k3max}} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 4,86} = 14,37 \, \Omega$$

$$X_{Smax110} = \frac{c \cdot U_{N110}}{\sqrt{3} \cdot I_{k3min}} = \frac{1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 1,6} = 39,69 \, \Omega$$

Převodní poměr:

$$p = \frac{U_{n1T} \cdot U_{V2}}{U_{n2T} \cdot U_{V1}} = \frac{110 \cdot 23}{23 \cdot 115} = 0,96$$

Přepočet na hladinu 22 kV:

$$X_{Smin22} = X_{Smin110} \cdot \left(\frac{U_{22}}{U_{110} \cdot p} \right)^2 = 14,37 \cdot \left(\frac{23}{110 \cdot 0,96} \right)^2 = 0,68 \, \Omega$$

$$X_{Smax22} = X_{Smax110} \cdot \left(\frac{U_{22}}{U_{110} \cdot p} \right)^2 = 39,69 \cdot \left(\frac{23}{110 \cdot 0,96} \right)^2 = 1,88 \, \Omega$$

Reaktance transformátorů:

$$X_{T101} = X_{T102} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{11,5 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 50 \cdot 10^6} = 1,22 \, \Omega$$

Součet sériového spojení reaktance zdroje a napájecího transformátoru:

$$X_{sTmin} = X_{smin22} + X_{T101} = 0,68 + 1,22 = 1,9 \, \Omega$$

$$X_{sTmax} = X_{smax22} + X_{T101} = 1,88 + 1,22 = 3,1 \, \Omega$$

5.2. Výpočet lokálních zdrojů

Na přípojnice rozvodny 22 kV jsou připojeny po vedení VN889 nebo VN890 dva paralelně pracující generátory. V provozu je vždy jedna linka ze dvou vedení. Na dodávce elektrické energie do přípojníc 22 kV se tedy podílí nejen vedení VVN 110 kV, ale i právě tyto dva generátory. Částečně se podílí na velikosti zkratového proudu, a proto je třeba generátory zahrnout do výpočtu maximálních zkratových proudů. Generátory jsou umístěny v teplárně Vsetín, která vyrábí jednak tepelnou energii pro vytápění, ale také elektrickou energii.

Tab. 5 Parametry generátorů.

-	S_{ng}	X''_d	U_1
Generátor	(MVA)	(%)	(kV)
G1	5,71	15	6,3
G2	5,71	15	6,3

Tab. 6 Parametry transformátorů.

-	S_{nT}	u_k	U
Transformátor	(MVA)	(%)	(kV)
T1	6,3	8	22/6,3
T2	6,3	8	22/6,3

Reaktance generátorů:

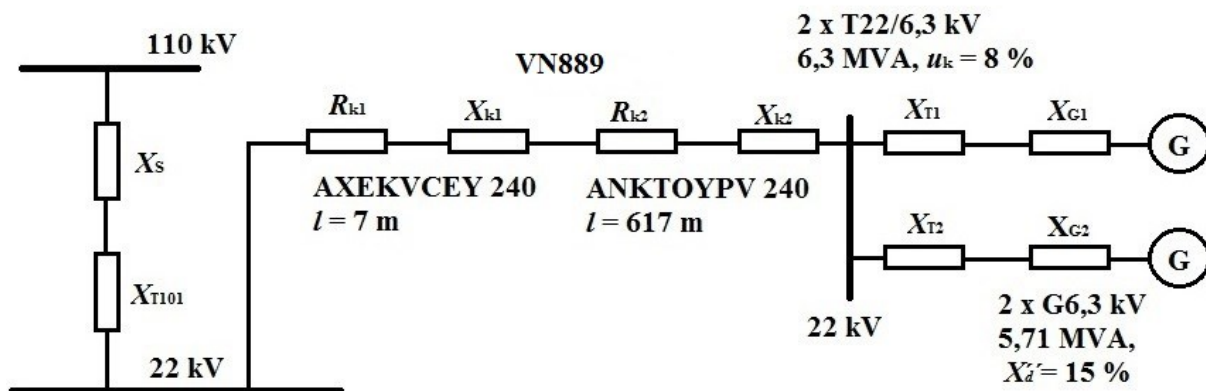
$$X_{g1} = X_{g2} = \frac{X''_d \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{15 \cdot 6300^2}{100 \cdot 5,71 \cdot 10^6} = 1,04 \, \Omega$$

Přepočet na hladinu 22kV:

$$X_g = X_{g1} \cdot \left(\frac{U_{22}}{U_{ng}} \right)^2 = 1,04 \cdot \left(\frac{23}{6,3} \right)^2 = 13,86 \, \Omega$$

Reaktance blokových transformátorů:

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{8 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 6,3 \cdot 10^6} = 6,72 \, \Omega$$



Obr. 18 Schéma včetně připojení generátorů pro výpočet maximálního zkratového proudu.

Reaktance sérioparalelního spojení transformátorů a generátorů:

Zde jde vzorec zjednodušit, neboť oba transformátory i oba generátory mají stejné hodnoty.

$$X_{Tg} = \frac{X_{T1} + X_g}{2} = \frac{6,72 + 13,86}{2} = 10,29 \, \Omega$$

5.2.1. Určení minimální impedance

Pro výpočet minimální reaktance potřebné pro výpočet maximálního zkratového proudu bude uvažováno v provozu vedení VN889, neboť je kratší a podle schéma zapojení bývá používáno při normálním provozu. Pro výpočet vedení VN890 vyjdou obdobné hodnoty, neboť rozdíl v délce je pouze několik metrů a na výpočty to má zanedbatelný vliv.

Tab. 7 Parametry vedení VN889.

VS_VSTN><VS_9310 (Teplárna)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	I _d (A)	K (-)	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)	R (Ω)	X (Ω)
VS_VSTN><VS_9310	7	240	AXEKVCEY	417	93	0,125	0,113	0,001	0,001
	617	240	ANKTOYPV	363	71	0,129	0,088	0,080	0,054

$$X_1 = X_{k1} \cdot \frac{l_1}{1000} = 0,113 \cdot \frac{7}{1000} = 0,001 \, \Omega$$

$$R_1 = R_{k1} \cdot \frac{l_1}{1000} = 0,125 \cdot \frac{7}{1000} = 0,001 \, \Omega$$

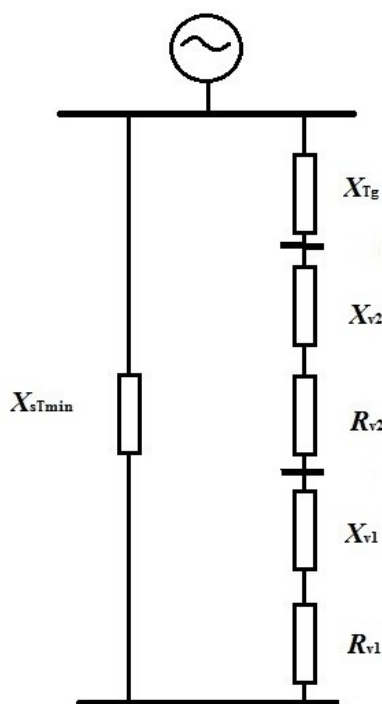
$$X_2 = X_{k2} \cdot \frac{l_2}{1000} = 0,088 \cdot \frac{617}{1000} = 0,054 \, \Omega$$

$$R_2 = R_{k2} \cdot \frac{l_2}{1000} = 0,129 \cdot \frac{617}{1000} = 0,080 \, \Omega$$

Výsledný odpor a reaktance kabelového vedení:

$$R_{VN889} = R_1 + R_2 = 0,001 + 0,080 = 0,081 \, \Omega$$

$$X_{VN889} = X_1 + X_2 = 0,001 + 0,054 = 0,055 \, \Omega$$



Obr. 19 Schéma pro výpočet maximálního proudu.

$$X_A = X_{Tg} + X_{v1} + X_{v2} = 10,29 + 0,001 + 0,054 = 10,345 \, \Omega$$

$$R_A = R_{v1} + R_{v2} = 0,001 + 0,08 = 0,081 \, \Omega$$

Tyto hodnoty jsou paralelně ve spojení s X_{sTmin} .

$$Z_{min} = \frac{X_{sTmin} \cdot (R_A + jX_A)}{X_{sTmin} + R_A + jX_A} = \frac{j1,9 \cdot (0,081 + j10,345)}{j1,9 + (0,081 + j10,345)} = 0,002 + j1,605 \, \Omega$$

$$|Z_{min}| = \sqrt{R_{Amin}^2 + X_{Amin}^2} = \sqrt{0,002^2 + 1,605^2} = 1,605 \, \Omega$$

Maximální třífázový zkratový proud na výstupu rozvodny:

$$I''_{k3max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{min}|} = \frac{1,1 \cdot 23 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,605} = 9100 \, A$$

5.2.2. Výpočet minimálního zkratového proudu VN889

Znalost minimálního zkratového proudu je třeba pro nastavení zkratového stupně ochrany. Nejmenší poruchový zkratový proud je na konci všech úseků, protože je zde největší impedance vedení. Počítá se hodnota pro konec hlavního vedení, ve výjimečných případech se do výpočtu zahrne některá z odboček. Vychází se z maximální reaktance zdroje zkratového proudu X_{sTmax} , která je složená ze sériového spojení reaktance nadřazené soustavy a napájecího transformátoru (T101 nebo T102).

Výpočet se provádí bez přispění generátorů, schéma je tedy jednodušší než pro výpočet maximálního zkratového proudu.

Minimální třífázový proud na konci hlavního vedení VN889:

$$I_{k3min}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{v1-2})^2 + (X_{sTmax} + X_{v1-2})^2}} = \frac{1 \cdot 23 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,081^2 + (3,1 + 0,055)^2}} = 4208 \text{ A}$$

$$I_{k2min}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3min}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4208 = 3644 \text{ A}$$

Ochrana proti přetížení

Pro 1. stupeň ochrany (proti přetížení) se využívá znalosti dovoleného proudu na úseku s nejmenším průřezem nebo přesněji řečeno nejmenším dovoleným proudem I_d . Zohledňuje se, zda se jedná o venkovní vedení nebo kabelové. Podle toho se volí koeficient bezpečnosti pro venkovní vedení $k_b = 1,2$ nebo pro kabelové vedení $k_b = 1,05$. Přídržný poměr k_p se nastavuje na 0,95. Převodní transformátory proudu lze provozovat (trvale) na 120 % jmenovité hodnoty proudu.

Nejmenší dovolený proud na hlavní části vedení VN889 má poslední úsek ANKTOYPV 240, a to $I_d = 353 \text{ A}$. Převodní poměr PTP je $p_i = 400/5$.

Rozběhová hodnota 1. stupně na primární straně

$$I_{1pr} \geq \frac{k_b \cdot I_d}{k_p} = \frac{1,05 \cdot 353}{0,95} = 390 \text{ A}$$

Hodnota se nastaví na 400 A.

Rozběhová hodnota 1. stupně na sekundární straně

$$I_{1sek} = \frac{I_{1pr}}{p_i} = \frac{400}{\frac{400}{5}} = 5 \text{ A}$$

Vypočtené hodnoty je třeba porovnat, aby protékající proud PTP nepřesáhl 120 % dovolené hodnoty.

Hodnoty jak na primární, tak i sekundární straně nepřesahují 120 % jmenovitých hodnot převodního transformátoru.

Ochrana proti zkratu

Koeficient citlivosti se volí pro digitální ochrany $k_c = 1,5$.

Rozběhová hodnota pro 2. zkratový stupeň:

$$I_{2pr} < \frac{I_{k2min}''}{k_c} = \frac{3644}{1,5} = 2429 \text{ A}$$

Hodnota se nastaví na 1600 A.

$$I_{2sek} = \frac{I_{2pr}}{p_i} = \frac{1600}{\frac{400}{5}} = 20 \text{ A}$$

5.3. Vedení VN893

Tab. 8 Parametry hlavního vedení VN983.

VS_VSTN><US_VS_3218	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_VSTN><VS_5020	577	240	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_5020><VS_5019	503	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_5019><VS_6444	363	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_6444><odb. k US_VS_3213	88	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
	89	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
odb. k US_VS_3213><VS_5066	71	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_5066><VS_5058	259	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5058><VS_9309	311	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_9309><VS_0108	265	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_0108><VS_5017	120	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
	196	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
	104	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
VS_5017><VS_5055	4	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
	154	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_5055><US_VS_3218	232	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
	19	70	AlFe	0,433	0,378	236	107

Tab. 9 Parametry 1. odbočky VN983.

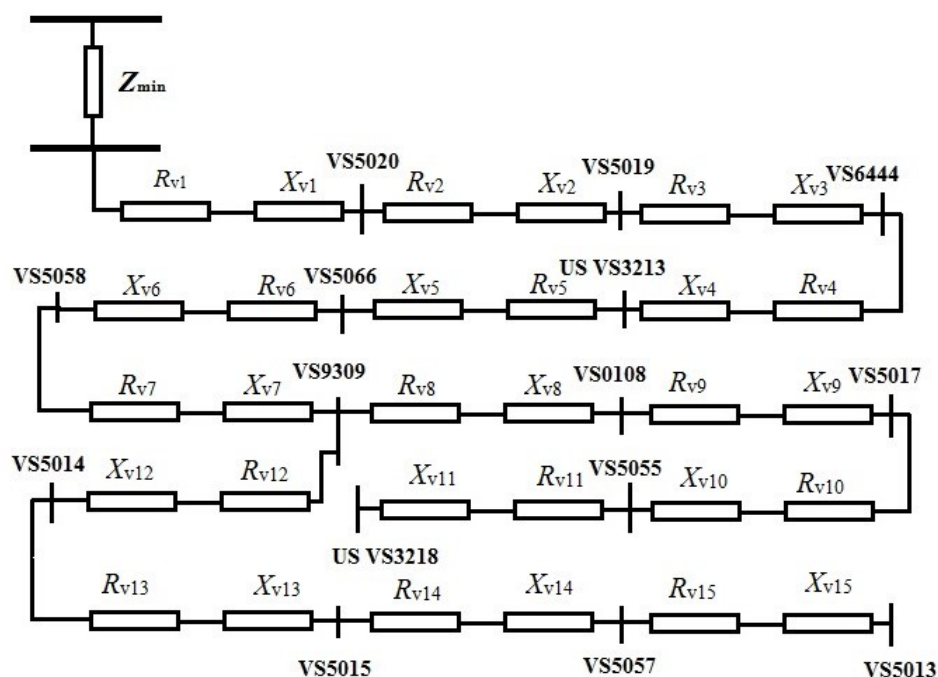
1: VS_9309><VS_5013	Délka(m)	Průřez (mm ²)	Typ	R _k (Ω/km)	X _k (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_9309><VS_5014	31	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_5014><VS_5015	30	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
	402	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5015><VS_5057	262	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_5057><VS_5013	215	240	ANKTOYPV	0,129	0,088	353	71
	137	240	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93

Na obrázku (Obr. 20) je zjednodušené schéma vedení VN893. Při výpočtu reaktance a činného odporu je třeba neopomenout, že některé úseky se skládají z více typů kabelů.

Například VS_6444><odb. k US_VS_3213 je tvořen dvěma různými kabely.

Maximální zkratový proud na konci prvního úseku:

$$I''_{k3\max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{s\min} + R_{v1})^2 + (X_{s\min} + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,002 + 0,146)^2 + (1,605 + 0,073)^2}} = 8671 \text{ A}$$



Obr. 20 Schéma vedení VN893.

Maximální vypínací čas

Je to maximální vypínací čas, ve kterém musí ochrana vypnout z hlediska tepelných účinků zkratového proudu na vedení. Hodnota I''_{k3max} se dosazuje pro začátek úseku, protože hledáme maximální hodnotu. Pokud by se dosadila hodnota pro konec úseku, znamenalo by to, že uvažujeme zkrat až na konci úseku, ale reálně tomu tak být nemusí, protože ke zkratu může dojít například v první třetině úseku nebo v nejhorším případě hned na začátku, tj v podstatě zkrat na výstupu z rozvodny.

Maximální vypínací čas pro první úsek:

$$t_{vyp} \leq \left(\frac{S \cdot K}{I''_{k3max} \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{240 \cdot 93}{9100 \cdot 1,29} \right)^2 = 3,6 \text{ s}$$

Maximální čas pro druhý úsek:

$$t_{vyp} \leq \left(\frac{S \cdot K}{I''_{k3max} \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{120 \cdot 93}{8671 \cdot 1,17} \right)^2 = 1,2 \text{ s}$$

Tab. 10 Koeficienty k_e . [13]

Místo zkratu	k_e pro t_k (s)		
	0,05	0,2	0,5
V soustavě VN	1,17	1,05	1,02
Za transformátorem VN/VN, VVN/VN	1,29	1,09	1,04

Tab. 11 Určené hodnoty pro vedení VN893.

VS_VSTN><US_VS_3218	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	K (-)	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
VS_VSTN><VS_5020	577	240	AXEKVCEY	93	0,146	0,073	8671	3,6	1,29
VS_5020><VS_5019	503	120	AXEKVCEY	93	0,127	0,063	8287	1,2	1,17
VS_5019><VS_6444	363	120	ANKTOYPV	71	0,109	0,035	8039	0,8	1,17
VS_6444><odb. k US_VS_3213	88	120	ANKTOYPV	71	0,026	0,009	7975	0,8	1,17
	89	150	AXEKVCEY	93	0,018	0,011	7912	2,2	1,17
odb. k US_VS_3213><VS_5066	71	150	AXEKVCEY	93	0,015	0,008	7863	2,3	1,17
VS_5066><VS_5058	259	120	ANKTOYPV	71	0,077	0,025	7682	0,9	1,17
VS_5058><VS_9309	311	120	ANKTOYPV	71	0,093	0,030	7462	0,9	1,17
VS_9309><VS_0108	265	120	AXEKVCEY	93	0,067	0,033	7265	1,6	1,17
VS_0108><VS_5017	120	120	AXEKVCEY	93	0,030	0,015	7178	1,7	1,17
	196	120	ANKTOYPV	71	0,059	0,019	7043	1,0	1,17
	104	240	AXEKVCEY	93	0,013	0,012	6990	7,3	1,17
VS_5017><VS_5055	4	240	AXEKVCEY	93	0,001	0,000	6988	7,4	1,17
	154	120	AXEKVCEY	93	0,039	0,019	6882	1,9	1,17
VS_5055><US_VS_3218	232	120	AXEKVCEY	93	0,059	0,029	6723	1,9	1,17
	19	70	AlFe	107	0,008	0,007	6693	0,9	1,17

Tab. 12 Určené hodnoty pro 1. odbočku vedení VN893.

1: VS_9309><VS_5013	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	K (-)	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
VS_9309><VS_5014	31	120	AXEKVCEY	93	0,008	0,004	7438	1,6	1,17
VS_5014><VS_5015	30	120	AXEKVCEY	93	0,008	0,004	7414	1,6	1,17
	402	120	ANKTOYPV	71	0,12	0,039	7133	1,0	1,17
VS_5015><VS_5057	262	150	AXEKVCEY	93	0,054	0,031	6966	2,8	1,17
VS_5057><VS_5013	215	240	ANKTOYPV	71	0,028	0,019	6873	4,4	1,17
	137	240	AXEKVCEY	93	0,035	0,017	6779	7,7	1,17

5.3.1. Minimální zkratový proud vedení VN893

Činný odpor sériového spojení úseků hlavního vedení. Pro reaktanci je výpočet obdobný.

$$R_{1-16} = \sum_{i=1}^{16} R_i = 0,146 + 0,127 + 0,109 + 0,026 + 0,018 + 0,015 + 0,077 + 0,093 + 0,067 + 0,030 + 0,059 + 0,013 + 0,001 + 0,039 + 0,059 + 0,008 = 0,887 \Omega$$

Minimální třífázový proud na konci hlavního vedení:

$$I''_{k3min} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1-16})^2 + (X_{sTmax} + X_{1-16})^2}} = \frac{1 \cdot 23 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,887^2 + (3,1 + 0,388)^2}} = 3690 \text{ A}$$

$$I''_{k2min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{k3min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3690 = 3196 \text{ A}$$

Ochrana proti přetížení

Nejmenší dovolený proud na hlavní části vedení VN893 má poslední úsek AlFe 70, a to $I_d = 236$ A.
Převodní poměr PTP je $p_i = 400/5$.

Rozběhová hodnota 1. stupně na primární straně

$$I_{1pr} \geq \frac{k_b \cdot I_d}{k_p} = \frac{1,2 \cdot 236}{0,95} = 298 \text{ A}$$

Hodnota se nastaví na 300 A.

Rozběhová hodnota 1. stupně na sekundární straně

$$I_{1sek} = \frac{I_{1pr}}{p_i} = \frac{300}{\frac{400}{5}} = 3,75 \text{ A}$$

Hodnoty jak na primární, tak i sekundární straně nepřesahují 120 % jmenovitých hodnot převodního transformátoru.

Ochrana proti zkratu

Rozběhová hodnota pro 2. zkratový stupeň:

$$I_{2pr} < \frac{I''_{k2min}}{k_c} = \frac{3196}{1,5} = 2131 \text{ A}$$

Hodnota se nastaví na 1600 A.

$$I_{2sek} = \frac{I_{2pr}}{p_i} = \frac{1600}{\frac{400}{5}} = 20 \text{ A}$$

5.4. Tabulky hodnot dalších vedení

Tab. 13 Zadané parametry vedení VN61.

Úsek R VST><R RZN	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3170	1086	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3170><odb. k VS_5040	1282	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_5040><odb. k US_VS_3123	1355	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
	453	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
	1551	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
odb. k US_VS_3123><odb. k US_VS_3107	4094	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
odb. k US_VS_3107><US_VS_3106	4864	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
US_VS_3106><odb. k US_VS_3105	1208	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
odb. k US_VS_3105><US_VS_3104	2867	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
US_VS_3104><VS_RZNV	455	240	ANKTOYPV	0,129	0,088	353	71

Tab. 14 Zadané parametry 1. odbočky VN61.

1: Úsek odbočka k US_VS_3105><VS_9342	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odbočka k US_VS_3105><VS_9342	1467	50	AlFe	0,696	0,389	177	107

Tab. 15 Vypočítané hodnoty vedení VN61.

Úsek R VST><R RZN	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	I _{k2min} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3170	0,254	0,387	7273	3289	1,2	1,29
odb. k US_VS_3170><odb. k VS_5040	0,341	0,463	5781	2879	1,9	1,17
odb. k VS_5040><odb. k US_VS_3123	0,432	0,501	4667	2518	2,3	1,17
	0,106	0,161	4403	2421	5,5	1,17
	0,495	0,574	3620	2116	3,9	1,17
odb. k US_VS_3123><odb. k US_VS_3107	1,306	1,515	2444	1572	5,8	1,17
odb. k US_VS_3107><US_VS_3106	1,552	1,8	1756	1196	12,6	1,17
US_VS_3106><odb. k US_VS_3105	0,385	0,447	1640	1129	24,5	1,17
odb. k US_VS_3105><US_VS_3104	0,915	1,061	1419	995	28,1	1,17
US_VS_3104><VS_RZNV	0,059	0,04	1410	989	105,4	1,17

Tab. 16 Vypočítané hodnoty vedení 1. odbočky VN61.

1: Úsek odbočka k US_VS_3105><VS_9342	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	I _{k2min} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
odbočka k US_VS_3105><VS_9342	1,021	0,571	1467	1027	7,8	1,17

Tab. 17 Zadané parametry vedení VN32.

US_VSTN><US_VS_3335 (E.ON)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
US_VSTN><odb. k VS_9301	3278	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_9301><odb. k US_VS_3157	125	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3157><US_VS_3349	1362	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
US_VS_3349><odb. k US_VS_3158	1695	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3158><odb. k US_VS_3159	1284	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3159><odb. k US_VS_3023	2706	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3023><odb. k US_VS_3260	491	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3260><US_VS_3335 (E.ON)	3077	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107

Tab. 18 Zadané parametry 1. odbočky VN32.

1: odb. k US_VS_3157><VS_4968	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3157><odb. k VS_4969	875	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
odb. k VS_4969><odb. k VS_4971	1179	35	AlFe	0,778	0,398	150	107
	87	50	SAX_K	0,868	0,050	102	68
odb. k VS_4971><VS_4968	103	50	SAX_K	0,868	0,050	102	68
	958	35	AlFe	0,778	0,398	150	107

Tab. 19 Zadané parametry 2. odbočky VN32.

2: odb. k US_VS_3159><VS_4875	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3159><odb. k US_VS_3160	971	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3160><odb. k VS_4879	980	35	AlFe	0,778	0,398	150	107
odb. k VS_4879><US_VS_3162	957	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
US_VS_3162><VS_4875	828	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107

Tab. 20 Zadané parametry 3. odbočky VN32.

3: odb. k US_VS_3260><VS_4826	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3260><odb. k VS_9038	302	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_9038><VS_4826	1335	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107

Tab. 21 Vypočítané hodnoty vedení VN32.

US_VSTN><US_VS_3335 (E.ON)	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	I _{k2min} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
US_VSTN><odb. k VS_9301	0,872	1,183	4999	2631	1,5	1,04
odb. k VS_9301><odb. k US_VS_3157	0,033	0,045	4910	2601	5,3	1,02
odb. k US_VS_3157><US_VS_3349	0,362	0,492	4104	2308	5,5	1,02
US_VS_3349><odb. k US_VS_3158	0,397	0,603	3423	2027	9,4	1,02
odb. k US_VS_3158><odb. k US_VS_3159	0,3	0,457	3040	1855	13,5	1,02
odb. k US_VS_3159><odb. k US_VS_3023	0,72	0,977	2436	1562	14,4	1,02
odb. k US_VS_3023><odb. k US_VS_3260	0,131	0,177	2351	1518	22,4	1,02
odb. k US_VS_3260><US_VS_3335 (E.ON)	0,818	1,111	1927	1289	24,1	1,02

Tab. 22 Vypočítané hodnoty 1. odbočky VN32.

1: odb. k US_VS_3157><VS_4968	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3157><odb. k VS_4969	0,626	0,343	4142	2340	0,8	1,02
odb. k VS_4969><odb. k VS_4971	0,917	0,469	3326	2020	0,8	1,02
	0,076	0,004	3291	2007	1,0	1,02
odb. k VS_4971><VS_4968	0,089	0,005	3251	1992	1,0	1,02
	0,745	0,381	2782	1778	1,3	1,02

Tab. 23 Vypočítané hodnoty 2. odbočky VN32.

2: odb. k US_VS_3159><VS_4875	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3159><odb. k US_VS_3160	0,42	0,367	2747	1720	5,8	1,02
odb. k US_VS_3160><odb. k VS_4879	0,762	0,39	2423	1566	1,8	1,02
odb. k VS_4879><US_VS_3162	0,684	0,375	2175	1439	3,3	1,02
US_VS_3162><VS_4875	0,592	0,325	1993	1342	4,1	1,02

Tab. 24 Vypočítané hodnoty 3. odbočky VN32.

3: odb. k US_VS_3260><VS_4826	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3260><odb. k VS_9038	0,08	0,109	2301	1492	24,1	1,02
odb. k VS_9038><VS_4826	0,955	0,523	2008	1341	3,7	1,02

Tab. 25 Zadané parametry vedení VN152.

VS_VSTN><VS_9280	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3170	1156	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3170><odb. k VS_3171	3563	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k VS_3171><odb. k VS_9279	2002	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k VS_9279><US_VS_3173	403	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
US_VS_3173><VS_9280	35	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	155	150	ANKTOYPV	0,239	0,094	273	71

Tab. 26 Zadané parametry 1. odbočky VN152.

1. odb. k VS_3171><VS_4870	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
odb. k VS_3171><odb. k VS_4866	197	35	AlFe	0,778	0,398	150	107
odb. k VS_4866><VS_4870	2097	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
	103	50	AlFe	0,696	0,389	177	107

Tab. 27 Vypočítané hodnoty vedení VN152.

VS_VSTN><VS_9280	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3170	0,271	0,412	7176	3265	1,2	1,29
odb. k US_VS_3170><odb. k VS_3171	0,834	1,268	4214	2344	2,3	1,17
odb. k VS_3171><odb. k VS_9279	0,468	0,713	3399	2013	6,8	1,17
odb. k VS_9279><US_VS_3173	0,129	0,149	3258	1951	6,5	1,17
US_VS_3173><VS_9280	0,009	0,013	3247	1946	9,5	1,17
	0,037	0,015	3227	1938	7,9	1,17

Tab. 28 Vypočítané hodnoty 1. odbočky vedení VN152.

1. odb. k VS_3171><VS_4870	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k VS_3171><odb. k VS_4866	0,153	0,078	4067	2292	0,6	1,17
odb. k VS_4866><VS_4870	0,908	0,793	3116	1900	2,5	1,17
	0,072	0,04	3071	1881	2,2	1,17

Tab. 29 Zadané hodnoty vedení VN227.

VS_VSTN><VS_9304 (Nemocnice)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3381	722	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3381><odb. k US_VS_3210	1003	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3210><US_VS_3292	299	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
US_VS_3292><VS_5057	212	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
VS_5057><US_VS_3214	290	240	ANKTOYPV	0,129	0,088	353	71
	11	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
US_VS_3214><odb. k US_VS_3217	507	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3217><VS_9304	533	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
	40	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93

Tab. 30 Vypočítané hodnoty vedení VN227.

VS_VSTN><VS_9304 (Nemocnice)	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3381	0,192	0,261	7786	3416	1,0	1,29
odb. k US_VS_3381><odb. k US_VS_3210	0,434	0,379	6266	3033	0,7	1,17
odb. k US_VS_3210><US_VS_3292	0,129	0,113	5898	2929	1,0	1,17
US_VS_3292><VS_5057	0,027	0,024	5825	2908	10,5	1,17
VS_5057><US_VS_3214	0,037	0,026	5741	2884	6,3	1,17
	0,005	0,004	5729	2880	1,2	1,17
US_VS_3214><odb. k US_VS_3217	0,22	0,192	5205	2719	1,2	1,17
odb. k US_VS_3217><VS_9304	0,231	0,201	4739	2564	1,5	1,17
	0,005	0,005	4729	2561	16,2	1,17

Tab. 31 Zadané parametry vedení VN65.

VS_VSTN><US_VS_3315	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3183	3828	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3183> <odb. k US_VS_3273	111	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
	1312	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3273> <odb. k US_VS_3285	1154	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	98	120	PAS	0,228	0,308	430	93
odb. k US_VS_3285> <odb. k VS_4853	155	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	869	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_4853> <odb. k US_VS_3265	608	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1268	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	309	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	213	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	89	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	92	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	112	120	PAS	0,228	0,308	430	93
odb. k US_VS_3265><odb. k US_VS_3269	152	120	PAS	0,228	0,308	430	93
odb. k US_VS_3269> <odb. k VS_6169	799	120	PAS	0,228	0,308	430	93
odb. k VS_6169> <odb. k US_VS_3367	1657	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3367> <odb. k VS_6200	1091	120	PAS	0,253	0,126	285	93
odb. k VS_6200> <odb. k US_VS_3343	706	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3343> <odb. k VS_6204	414	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_6204> <odb. k VS_6187	321	120	PAS	0,228	0,308	430	93
odb. k VS_6187> <odb. k US_VS_3195	1265	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3195> <odb. k US_VS_3341	359	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3341> <odb. k VS_6163	572	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_6163> <odb. k US_VS_3431	544	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	779	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3431> <odb. k US_VS_3368	631	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	698	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	511	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	333	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	171	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3368> <odb. k US_VS_3409	223	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	743	120	PAS	0,228	0,308	430	93
odb. k US_VS_3409> <US_VS_3315	1318	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107

Tab. 32 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN65.

1: odb. k US_VS_3265><VS_6182	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3265><odb. k VS_6174	270	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
	143	140	2xAX70	0,222	0,069	420	93
	643	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_6174><odb. k VS_6184	1581	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
odb. k VS_6184><VS_6182	701	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
	401	70	AlFe	0,433	0,378	225	107

Tab. 33 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN65.

2: odb. k US_VS_3367><VS_4922	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3367><odb. k US_VS_3279	2231	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3279><odb. k US_VS_3291	1989	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k US_VS_3291>odb. k VS_6278	1262	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k VS_6278><VS_4922	2195	35	AlFe	0,778	0,398	150	107

Tab. 34 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN65.

3: odb. k US_VS_3343><	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3343><odb. k VS_6201	465	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_6201>odb. k VS_6196	2837	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
	236	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
odb. k VS_6196><VS_6189	857	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107

Tab. 35 Zadané parametry 4. odbočky vedení VN65.

4: odb. k US_VS_3195><VS_9020	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3195><odb. k VS_6438	1269	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_6438>odb. k VS_6155	680	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_6155><VS_9020	614	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107

Tab. 36 Zadané parametry 5. odbočky vedení VN65.

5: odb. k US_VS_3341><VS_5008	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3341><odb. k VS_6156	2966	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_6156><VS_5008	3183	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
	1653	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107

Tab. 37 Zadané parametry 6. odbočky vedení VN65.

6: odb. k US_VS_3368><VS_9362	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3368><odb. k VS_9118	574	70	ADX_K	0,507	0,107	310	93
odb. k VS_9118><odb. k US_VS_3254	1236	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3254>odb. k US_VS_3302	3287	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3302><US_VS_3410	437	35	ADX_K	0,967	0,126	200	93
	112	50	PAS	0,720	0,337	245	94
US_VS_3410><US_VS_3295	394	70	AX	0,443	0,129	210	93
US_VS_3295>odb. k VS_6285	56	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
odb. k VS_6285><VS_9362	236	70	AX	0,443	0,129	210	93

Tab. 38 Vypočítané hodnoty hlavního vedení VN65.

VS_VSTN><US_VS_3315	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3183	0,896	1,363	4711	2526	1,8	1,04
odb. k US_VS_3183><odb. k US_VS_3273	0,026	0,04	4642	2502	7,1	1,02
	0,349	0,474	3940	2239	6,2	1,02
odb. k US_VS_3273><odb. k US_VS_3285	0,307	0,417	3472	2046	8,6	1,02
	0,022	0,03	3443	2034	9,9	1,02
odb. k US_VS_3285><odb. k VS_4853	0,035	0,048	3396	2014	10,1	1,02
	0,231	0,314	3121	1892	11,5	1,02
odb. k VS_4853><odb. k US_VS_3265	0,139	0,187	2977	1825	12,3	1,02
	0,337	0,458	2673	1680	15,0	1,02
	0,07	0,095	2618	1653	16,8	1,02
	0,057	0,077	2574	1631	19,4	1,02
	0,02	0,027	2559	1624	18,1	1,02
	0,024	0,033	2541	1615	20,3	1,02
	0,026	0,034	2523	1606	18,5	1,02
odb. k US_VS_3265><odb. k US_VS_3269	0,035	0,047	2498	1593	18,8	1,02
odb. k US_VS_3269><odb. k VS_6169	0,182	0,246	2376	1531	19,2	1,02
odb. k VS_6169><odb. k US_VS_3367	0,441	0,598	2123	1397	23,6	1,02
odb. k US_VS_3367><odb. k VS_6200	0,276	0,137	2048	1358	26,6	1,02
odb. k VS_6200><odb. k US_VS_3343	0,188	0,255	1961	1310	31,8	1,02
odb. k US_VS_3343><odb. k VS_6204	0,11	0,149	1914	1283	34,6	1,02
odb. k VS_6204><odb. k VS_6187	0,073	0,099	1884	1266	32,7	1,02
odb. k VS_6187><odb. k US_VS_3195	0,336	0,457	1756	1193	37,5	1,02
odb. k US_VS_3195><odb. k US_VS_3341	0,095	0,13	1723	1174	43,2	1,02
odb. k US_VS_3341><odb. k VS_6163	0,152	0,206	1673	1144	44,9	1,02
odb. k VS_6163><odb. k US_VS_3431	0,124	0,168	1634	1121	42,8	1,02
	0,207	0,281	1573	1085	49,9	1,02
odb. k US_VS_3431><odb. k US_VS_3368	0,168	0,228	1526	1057	53,8	1,02
	0,159	0,215	1485	1032	51,4	1,02
	0,136	0,184	1451	1012	60,4	1,02
	0,076	0,103	1433	1001	56,8	1,02
	0,045	0,062	1423	994	64,8	1,02
odb. k US_VS_3368><odb. k US_VS_3409	0,059	0,081	1409	986	65,8	1,02
	0,169	0,229	1371	962	60,3	1,02
odb. k US_VS_3409><US_VS_3315	0,351	0,476	1300	917	70,8	1,02

Tab. 39 Vypočítané hodnoty 1. odbočky vedení VN65.

1: odb. k US_VS_3265><VS_6182	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3265><odb. k VS_6174	0,117	0,102	2462	1575	8,5	1,02
	0,032	0,01	2452	1571	26,9	1,02
	0,278	0,243	2319	1503	9,0	1,02
odb. k VS_6174><odb. k VS_6184	1,13	0,62	1971	1322	3,6	1,02
odb. k VS_6184><VS_6182	0,501	0,275	1844	1253	5,0	1,02
	0,174	0,152	1793	1223	15,9	1,02

Tab. 40 Vypočítané hodnoty 2. odbočky vedení VN65.

2: odb. k US_VS_3367><VS_4922	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3367><odb. k US_VS_3279	0,966	0,843	1805	1223	12,0	1,02
odb. k US_VS_3279><odb. k US_VS_3291	1,384	0,774	1538	1070	8,4	1,02
odb. k US_VS_3291><odb. k VS_6278	0,878	0,491	1402	989	11,6	1,02
odb. k VS_6278><VS_4922	1,708	0,874	1199	862	6,9	1,02

Tab. 41 Vypočítané hodnoty 3. odbočky vedení VN65.

3: odb. k US_VS_3343><	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3343><odb. k VS_6201	0,201	0,176	1897	1274	14,0	1,02
odb. k VS_6201><odb. k VS_6196	1,228	1,072	1578	1091	15,0	1,02
	0,169	0,093	1549	1075	7,8	1,02
odb. k VS_6196><VS_6189	0,613	0,336	1453	1018	8,1	1,02

Tab. 42 Vypočítané hodnoty 4. odbočky vedení VN65.

4: odb. k US_VS_3195><VS_9020	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3195><odb. k VS_6438	0,549	0,48	1621	1115	17,5	1,02
odb. k VS_6438><odb. k VS_6155	0,294	0,257	1556	1077	20,5	1,02
odb. k VS_6155><VS_9020	0,439	0,241	1486	1036	8,0	1,02

Tab. 43 Vypočítané hodnoty 5. odbočky vedení VN65.

5: odb. k US_VS_3341><VS_5008	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3341><odb. k VS_6156	1,284	1,121	1445	1010	18,2	1,02
odb. k VS_6156><VS_5008	2,276	1,248	1172	842	9,3	1,02
	0,716	0,625	1090	789	39,2	1,02

Tab. 44 vypočítané hodnoty 6. odbočky vedení VN65.

6: odb. k US_VS_3368><VS_9362	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3368><odb. k VS_9118	0,291	0,061	1395	978	20,1	1,02
odb. k VS_9118><odb. k US_VS_3254	0,535	0,467	1309	925	27,7	1,02
odb. k US_VS_3254>odb. k US_VS_3302	1,423	1,242	1125	808	31,5	1,02
odb. k US_VS_3302><US_VS_3410	0,423	0,055	1100	793	8,1	1,02
	0,081	0,038	1093	789	17,6	1,02
US_VS_3410><US_VS_3295	0,175	0,051	1081	781	34,1	1,02
US_VS_3295>odb. k VS_6285	0,04	0,022	1078	779	16,6	1,02
odb. k VS_6285><VS_9362	0,105	0,03	1071	775	35,1	1,02

Tab. 45 Zadané parametry vedení VN141.

Úsek R VST><US_VS_3188	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
R VST><odb. k VS_3180	1661	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k VS_3180><odb. k US_VS_3321	637	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3321><odb. k US_VS_3182	444	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3182><odb. k US_VS_3320	989	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3320><odb. k US_VS_3183	21	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
	90	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3183><odb. k US_VS_3184	275	70	PAS	0,493	0,325	310	93
odb. k US_VS_3184><odb. k US_VS_3185	1344	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3185><odb. k VS_9292	170	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_9292><odb. k US_VS_3352	161	70	SAXKA	0,443	0,044	152	94
odb. k US_VS_3352><US_VS_3188	815	70	AlFe 70/11	0,433	0,378	236	107

Tab. 46 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN141.

1. Úsek odb. k US_VS_3182><US_VS_3215	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3182><VS_5016	60	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
	306	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_5016><VS_5053	82	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
	439	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5053><US_VS_3215	227	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
	19	50	AlFe	0,696	0,389	177	107

Tab. 47 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN141.

2. Úsek odb. k US_VS_3320><US_VS_3217	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3320><><VS_5049	46	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
	183	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
VS_5049><VS_5048	114	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_5048><VS_5045	255	240	ANKTOYPV	0,129	0,088	353	71
VS_5045><VS_5018	380	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_5018>VS_5065	155	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
	128	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_5065><US_VS_3217	124	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93

Tab. 48 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN141.

3. Úsek odb. k US_VS_3184><US_VS_3224	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3184><VS_5031	71	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
	277	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_5031><VS_9312	628	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_9312><VS_6406	197	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
	41	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_6406><VS_5028	40	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
	355	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5028><VS_5029	144	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5029><VS_5030	273	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5030><US_VS_3224	199	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71

Tab. 49 Zadané parametry odbočky 3.1 vedení VN141.

3-1. Úsek VS_5031><VS_9313	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_5031><VS_5032	277	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5032><VS_5033	319	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_5033><VS_5034	430	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
	174	150	ANKTOYPV	0,239	0,094	273	71
VS_5034>VS_6403	187	150	ANKTOYPV	0,239	0,094	273	71
	191	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
VS_6403><VS_9313	111	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71

Tab. 50 Vypočítané parametry vedení VN141.

Úsek R VST><US_VS_3188	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
R VST><odb. k VS_3180	0,389	0,591	6549	3099	1,2	1,29
odb. k VS_3180><odb. k US_VS_3321	0,149	0,227	5884	2908	2,8	1,17
odb. k US_VS_3321><odb. k US_VS_3182	0,104	0,158	5491	2787	3,5	1,17
odb. k US_VS_3182><odb. k US_VS_3320	0,231	0,352	4772	2548	4,0	1,17
odb. k US_VS_3320><odb. k US_VS_3183	0,007	0,008	4757	2543	3,3	1,17
	0,021	0,032	4701	2523	5,3	1,17
odb. k US_VS_3183><odb. k US_VS_3184	0,136	0,089	4517	2461	1,4	1,17
odb. k US_VS_3184><odb. k US_VS_3185	0,582	0,508	3726	2163	2,0	1,17
odb. k US_VS_3185><odb. k VS_9292	0,074	0,064	3643	2129	3,0	1,17
odb. k VS_9292><odb. k US_VS_3352	0,071	0,007	3610	2118	2,4	1,17
odb. k US_VS_3352><US_VS_3188	0,353	0,308	3259	1969	3,1	1,17

Tab. 51 Vypočítané parametry 1. odbočky vedení VN141.

1. Úsek odb. k US_VS_3182><US_VS_3215	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3182><VS_5016	0,014	0,021	5442	2772	4,0	1,17
	0,077	0,038	5330	2738	3,1	1,17
VS_5016><VS_5053	0,021	0,01	5301	2730	3,2	1,17
	0,131	0,043	5152	2687	1,9	1,17
VS_5053><US_VS_3215	0,068	0,022	5075	2664	2,0	1,17
	0,013	0,007	5056	2658	0,8	1,17

Tab. 52 Vypočítané parametry 2. odbočky vedení VN141.

2. Úsek odb. k US_VS_3320><US_VS_3217	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3320><><VS_5049	0,011	0,016	4744	2538	5,3	1,17
	0,023	0,021	4703	2524	16,2	1,17
VS_5049><VS_5048	0,023	0,014	4672	2514	6,4	1,17
VS_5048><VS_5045	0,033	0,022	4627	2498	9,7	1,17
VS_5045><VS_5018	0,078	0,045	4530	2466	6,6	1,17
VS_5018>VS_5065	0,032	0,019	4491	2452	6,9	1,17
	0,032	0,016	4455	2440	4,5	1,17
VS_5065><US_VS_3217	0,016	0,014	4430	2431	18,3	1,17

Tab. 53 Vypočítané parametry 3. odbočky vedení VN141.

3. Úsek odb. k US_VS_3184><US_VS_3224	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3184><VS_5031	0,031	0,027	4468	2443	2,6	1,02
	0,057	0,033	4401	2420	9,4	1,02
VS_5031><VS_9312	0,188	0,061	4241	2367	3,6	1,02
VS_9312><VS_6406	0,059	0,019	4192	2350	3,9	1,02
	0,008	0,005	4183	2347	10,6	1,02
VS_6406><VS_5028	0,008	0,005	4174	2343	10,7	1,02
	0,106	0,034	4087	2313	4,0	1,02
VS_5028><VS_5029	0,043	0,014	4052	2301	4,2	1,02
VS_5029><VS_5030	0,082	0,026	3987	2278	4,2	1,02
VS_5030><US_VS_3224	0,06	0,019	3939	2261	4,4	1,02

Tab. 54 Vypočítané parametry odbočky 3.1 vedení VN141.

3-1. Úsek VS_5031><VS_9313	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_5031><VS_5032	0,083	0,027	4396	2397	3,6	1,02
VS_5032><VS_5033	0,095	0,031	4315	2370	3,6	1,02
VS_5033><VS_5034	0,129	0,042	4205	2333	3,7	1,02
	0,042	0,016	4167	2320	6,2	1,02
VS_5034>VS_6403	0,045	0,018	4126	2306	6,3	1,02
	0,039	0,023	4083	2290	11,0	1,02
VS_6403><VS_9313	0,033	0,011	4056	2281	4,2	1,02

Tab. 55 Zadané parametry vedení VN223.

VS_VSTN><US_VS_3019 (EON)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k VS_4952	73	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	1057	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
	736	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
odb. k VS_4952><odb. k US_VS_3165	1865	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
odb. k US_VS_3165><US_VS_3166	740	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
US_VS_3166>odb. k US_VS_3318	167	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3318><US_VS_3005	1086	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	130	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
US_VS_3005><odb. k US_VS_3360	2269	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3360><odb. k VS_4911	253	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_4911><US_VS_3019	2090	70	AlFe	0,433	0,378	236	107

Tab. 56 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN223.

2: odb. k US_VS_3318><US_VS_3317	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3318><odb. k US_VS_3228	3455	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3228><odb. k US_VS_3229	2022	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k US_VS_3229><odb. k US_VS_3275	477	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k US_VS_3275><odb. k VS_4998	779	70	AlFe	0,433	0,378	225	107
odb. k VS_4998><odb. k VS_4994	1068	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_4994><odb. k US_VS_3230	532	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k US_VS_3230><odb. k VS_4925	1460	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k VS_4925><odb. k VS_4921	490	66	AlFe66/11	0,426	0,378	236	107
	611	66	AlFe66/11	0,426	0,378	236	107
	155	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
	248	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_4921><US_VS_3317	1688	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
	663	95	AlFe	0,319	0,370	284	107

Tab. 57 Zadané parametry odbočky 2.1 vedení VN223.

2-1: odb. k US_VS_3228><US_VS_3285	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3228><odb. k VS_9348	824	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k VS_9348>odb. k VS_4987	1316	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k VS_4987><US_VS_3285	136	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
	500	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107

Tab. 58 Zadané parametry odbočky 2.2 vedení VN223.

2-2: odb. k US_VS_3229><VS_4976	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3229><odb. k VS_4974	2421	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_4974><VS_4976	724	50	AlFe	0,696	0,389	177	107

Tab. 59 Zadané parametry odbočky 2.3 vedení VN223.

2-3: odb. k US_VS_3230><VS_4927	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3230><US_VS_3440	2811	66	AlFe66/11	0,426	0,378	236	107
	96	70	PAS	0,493	0,325	310	93
US_VS_3440><VS_4927	254	70	AXEKVCEY	0,443	0,138	210	93
	2693	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107

Tab. 60 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN223.

3: odb. k US_VS_3360><VS_4912	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3360><odb. k VS_4908	44	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_4908><VS_4912	270	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107
	2103	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107

Tab. 61 Vypočítané hodnoty vedení VN223.

VS_VSTN><US_VS_3019 (EON)	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	I _{k2min} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
VS_VSTN><odb. k VS_4952	0,019	0,026	8955	3679	1,4	1,09
	0,247	0,376	7214	3274	1,9	1,05
	0,235	0,272	6259	3021	1,8	1,05
odb. k VS_4952><odb. k US_VS_3165	0,595	0,69	4614	2502	2,4	1,05
odb. k US_VS_3165><US_VS_3166	0,236	0,274	4166	2337	4,4	1,05
US_VS_3166>odb. k US_VS_3318	0,044	0,06	4081	2304	7,2	1,05
odb. k US_VS_3318><US_VS_3005	0,289	0,392	3603	2110	7,5	1,05
	0,056	0,049	3544	2085	3,9	1,05
US_VS_3005><odb. k US_VS_3360	0,982	0,858	2736	1724	4,1	1,05
odb. k US_VS_3360><odb. k VS_4911	0,11	0,096	2667	1691	6,8	1,05
odb. k VS_4911><US_VS_3019	0,905	0,79	2203	1454	7,2	1,05

Tab. 62 Vypočítané hodnoty 1. odbočky vedení VN223.

1: odb. k US_VS_3165><VS_4965	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	I _{k2min} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
odb. k US_VS_3165><odb. k VS_4892	0,127	0,071	4457	2448	1,2	1,05
	1,61	0,823	3048	1897	0,6	1,05
odb. k VS_4892><odb. k VS_4955	0,691	0,386	2645	1707	2,8	1,05
odb. k VS_4955><VS_4965	0,608	0,333	2367	1565	2,6	1,05

Tab. 63 Vypočítané hodnoty 2. odbočky vedení VN223.

2: odb. k US_VS_3318><US_VS_3317	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3318><odb. k US_VS_3228	1,496	1,306	2689	1705	3,1	1,05
odb. k US_VS_3228><odb. k US_VS_3229	1,407	0,787	2121	1418	3,6	1,05
odb. k US_VS_3229><odb. k US_VS_3275	0,332	0,186	2017	1361	5,8	1,05
odb. k US_VS_3275><odb. k VS_4998	0,337	0,294	1901	1295	12,5	1,05
odb. k VS_4998><odb. k VS_4994	0,462	0,404	1762	1214	14,1	1,05
odb. k VS_4994><odb. k US_VS_3230	0,37	0,207	1681	1167	8,4	1,05
odb. k US_VS_3230><odb. k VS_4925	1,016	0,568	1491	1053	9,2	1,05
	0,209	0,185	1450	1027	20,3	1,05
odb. k VS_4925><odb. k VS_4921	0,26	0,231	1402	997	21,5	1,05
	0,108	0,06	1386	987	13,2	1,05
	0,107	0,094	1367	975	26,5	1,05
odb. k VS_4921><US_VS_3317	0,731	0,638	1254	902	27,2	1,05
	0,211	0,245	1220	879	59,6	1,05

Tab. 64 Vypočítané hodnoty odbočky 2.1 vedení VN223.

2-1: odb. k US_VS_3228><US_VS_3285	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3228><odb. k VS_9348	0,574	0,321	2428	1577	3,6	1,05
odb. k VS_9348>odb. k VS_4987	0,916	0,512	2094	1403	4,4	1,05
odb. k VS_4987><US_VS_3285	0,095	0,053	2064	1387	5,9	1,05
	0,217	0,189	1985	1342	11,9	1,05

Tab. 65 Vypočítané hodnoty odbočky 2.2 vedení VN223.

2-2: odb. k US_VS_3229><VS_4976	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3229><odb. k VS_4974	1,048	0,915	1768	1217	11,3	1,05
odb. k VS_4974><VS_4976	0,504	0,282	1659	1153	8,3	1,05

Tab. 66 Vypočítané hodnoty odbočky 2.3 vedení VN223.

2-3: odb. k US_VS_3230><VS_4927	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3230><US_VS_3440	1,197	1,063	1421	1007	16,0	1,05
	0,047	0,031	1413	1002	19,0	1,05
US_VS_3440><VS_4927	0,113	0,035	1399	994	19,2	1,05
	1,166	1,018	1219	878	26,0	1,05

Tab. 67 Vypočítané hodnoty 3. odbočky vedení VN223.

3: odb. k US_VS_3360><VS_4912	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3360><odb. k VS_4908	0,019	0,017	2724	1718	6,8	1,05
odb. k VS_4908><VS_4912	0,193	0,106	2631	1674	2,5	1,05
	0,911	0,795	2174	1439	7,4	1,05

Tab. 68 Zadané parametry vedení VN231.

VS_VSTN><VS_9053 (Jablůnka Zbrojovka)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3287	1107	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
	773	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3287><US_VS_3445	499	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
	589	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
US_VS_3445><VS_6307	222	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
VS_6307><US_VS_3446	151	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
US_VS_3446><odb. k VS_4850	1582	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_4850><US_VS_3022	1624	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
US_VS_3022><VS_9053	187	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93

Tab. 69 Vypočítané hodnoty vedení VN231

VS_VSTN><VS_9053 (Jablůnka Zbrojovka)	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3287	0,294	0,4	7207	3274	1,0	1,29
	0,206	0,279	6246	3017	1,9	1,17
odb. k US_VS_3287><US_VS_3445	0,133	0,18	5741	2868	2,6	1,17
	0,157	0,213	5232	2708	3,1	1,17
US_VS_3445><VS_6307	0,056	0,028	5153	2684	3,3	1,17
VS_6307><US_VS_3446	0,038	0,019	5099	2668	3,4	1,17
US_VS_3446><odb. k VS_4850	0,421	0,571	4121	2316	3,9	1,17
odb. k VS_4850><US_VS_3022	0,432	0,586	3435	2036	6,0	1,17
US_VS_3022><VS_9053	0,047	0,023	3402	2022	7,7	1,17

Tab. 70 Zadané hodnoty vedení VN238

VS_VSTN><VS_9314	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3188	140	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
	8883	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
odb. k US_VS_3188><VS_9314	133	50	Cu	0,387	0,145	222	94

Tab. 71 Vypočítané hodnoty Vedení VN238.

VS_VSTN><VS_9314	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><odb. k US_VS_3188	0,018	0,016	9010	3691	3,6	1,29
	2,079	3,162	2796	1737	1,5	1,17
odb. k US_VS_3188><VS_9314	0,051	0,019	2776	1728	2,1	1,17

Tab. 72 Zadané hodnoty vedení VN243.

Úsek R VST><243-3.4-265	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
R VST><US_VS_3226	39	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	537	120	AlFe	0,234	0,356	357	107
	528	95	AlFe	0,319	0,370	284	107
	113	35	AlFe	0,778	0,398	150	107
US_VS_3226><VS_4956	252	35	AlFe	0,778	0,398	150	107
	70	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4956><VS_4961	271	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4961><VS_4957	200	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4957><VS_4963	66	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
	271	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4963><odb. k US_VS_3223	17	150	AXEKVCEY	0,206	0,119	319	93
	625	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k US_VS_3223><odb. k US_VS_3224	253	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3224><US_VS_3273	260	110	AlFe	0,266	0,361	318	107
	172	35	AlFe	0,778	0,398	150	107

Tab. 73 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN243.

1. Úsek VS_4956><VS_4963	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
VS_4956><VS_4960	282	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4960><VS_4959	201	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4959><VS_4958	233	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71
VS_4958><VS_4963	218	120	ANKTOYPV	0,299	0,097	241	71

Tab. 74 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN243.

1. Úsek odb. k US_VS_3223><VS_9304	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω /km)	X (Ω /km)	I_d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3223><VS_9304	14	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
	70	150	2xAXEKVCEY	0,103	0,060	638	93
	444	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
	40	240	AXEKVCEY	0,100	0,110	471	93

Tab. 75 Vypočítané hodnoty vedení VN243.

Úsek R VST><243-3.4-265	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
R VST><US_VS_3226	0,01	0,014	9022	3693	1,0	1,29
	0,126	0,191	8047	3477	1,5	1,17
	0,168	0,195	7202	3273	1,2	1,17
	0,088	0,045	6997	3224	0,2	1,17
US_VS_3226><VS_4956	0,196	0,1	6552	3115	0,2	1,17
	0,021	0,007	6516	3106	1,2	1,17
VS_4956><VS_4961	0,081	0,026	6378	3073	1,2	1,17
VS_4961><VS_4957	0,06	0,019	6278	3049	1,3	1,17
VS_4957><VS_4963	0,017	0,008	6242	3039	2,3	1,17
	0,081	0,026	6106	3006	1,4	1,17
VS_4963><odb. k US_VS_3223	0,004	0,002	6098	3003	3,8	1,17
	0,435	0,243	5224	2752	0,6	1,17
odb. k US_VS_3223><odb. k US_VS_3224	0,067	0,091	5024	2683	3,7	1,17
odb. k US_VS_3224><US_VS_3273	0,069	0,094	4832	2615	4,0	1,17
	0,134	0,068	4641	2552	0,4	1,17

Tab. 76 Vypočítané hodnoty na 1. odbočce vedení VN243.

1. Úsek VS_4956><VS_4963	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_4956><VS_4960	0,084	0,027	6373	3072	1,2	1,17
VS_4960><VS_4959	0,06	0,019	6272	3047	1,3	1,17
VS_4959><VS_4958	0,07	0,023	6153	3018	1,3	1,17
VS_4958><VS_4963	0,065	0,021	6044	2990	1,4	1,17

Tab. 77 Vypočítané hodnoty na 2. odbočce vedení VN243.

1. Úsek odb. k US_VS_3223><VS_9304	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3223><VS_9304	0,006	0,005	5211	2747	1,5	1,17
	0,007	0,004	5198	2744	5,2	1,17
	0,192	0,168	4791	2606	1,5	1,17
	0,004	0,004	4782	2603	15,9	1,17

Tab. 78 Vypočítané hodnoty vedení VN 889.

VS_VSTN><VS_9310 (Teplárna)	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><VS_9310	0,001	0,001	9096	3708	7,8	1,04
	0,080	0,054	8884	3644	4,7	1,02

Tab. 79 Zadané parametry vedení VN890.

VS_VSTN><VS_9310 (Teplárna)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_VSTN><VS_9310	25	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
	617	240	ANKTOYPV	0,129	0,088	353	71

Tab. 80 Vypočítané hodnoty vedení VN890.

VS_VSTN><VS_9310 (Teplárna)	R _v (Ω)	X _v (Ω)	I _{k3max} (A)	I _{k2min} (A)	t _{vyp} (s)	k _e (-)
VS_VSTN><VS_9310	0,003	0,003	9088	3706	7,8	1,04
	0,08	0,054	8876	3641	4,7	1,02

Tab. 81 Zadané parametry vedení VN1212.

VS_VSTN><US_VS_3115	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_VSTN><odb. k VS_9291	1134	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_9291><odb. k US_VS_6439	1926	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_6439><US_VS_3375	1628	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
US_VS_3375><odb. k US_VS_3152	2284	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3152><US_VS_3115	2453	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
US_VS_3115><odb. k US_VS_3116 (VN223 VMEZ)	96	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3310><odb. k US_VS_3116	1076	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3310><US_VS_3113	1564	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
US_VS_3113><odb. k US_VS_3112	1136	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3112><odb. k VS_5502	1204	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k VS_5502><odb. k US_VS_3110	576	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3110><S_VMEZ	2882	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107

Tab. 82 Zadané parametry 1. odbočky vedení VN1212.

1: odb. k US_VS_3152><VS_9053 (Zbrojovka)	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3152> <odb. k US_VS_3151	206	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3151> <odb. k VS_4838	825	66	AlFe-AL1/11-ST1A	0,426	0,378	236	107
odb. k VS_4838> <VS_9053 (Zbrojovka)	40	66	AlFe-AL1/11-ST1A	0,426	0,378	236	107
	707	70	AlFe	0,433	0,378	236	107

Tab. 83 Zadané parametry 2. odbočky vedení VN1212.

2: odb. k US_VS_3116><VS_5578	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3116><odb. k VS_5577	3427	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_5577><odb. k VS_5579	1142	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_5579><VS_5578	631	42	AlFe42/7	0,715	0,392	163	107

Tab. 84 Zadané parametry 3. odbočky vedení VN1212.

3: odb. k US_VS_3310><US_VS_3304	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3310><odb. k VS_5483	549	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_5483><odb. k US_VS_3122	1090	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
	676	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3122><US_VS_3118	2056	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
US_VS_3118><odb. k VS_5475	477	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_5475><odb. k VS_9001	130	50	AlFe	0,696	0,389	177	107
odb. k VS_9001><odb. k VS_5477	99	35	AlFe	0,778	0,398	150	107
odb. k VS_5477><odb. k US_VS_3107	1459	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3107><odb. k US_VS_3120	425	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k US_VS_3120><odb. k VS_5683	1143	70	AlFe	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_5683><odb. k VS_9170	1795	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_9170><US_VS_3304	178	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93
	250	95	AXEKVCEY	0,320	0,132	251	93
	325	120	AXEKVCEY	0,253	0,126	285	93

Tab. 85 Zadané parametry odbočky 3.1 vedení VN1212.

3-1: odb. k US_VS_3122><US_VS_3123	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
odb. k US_VS_3122><odb. k VS_5614	2127	70	AlFe70/11	0,433	0,378	236	107
odb. k VS_5614><US_VS_3123	1410	70	AlFe	0,433	0,378	236	107

Tab. 86 Vypočítané hodnoty vedení VN1212.

VS_VSTN><US_VS_3115	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><odb. k VS_9291	0,302	0,409	7171	3265	1,0	1,29
odb. k VS_9291><odb. k US_VS_6439	0,512	0,695	5163	2686	2,0	1,17
odb. k US_VS_6439><US_VS_3375	0,433	0,588	4143	2322	3,8	1,17
US_VS_3375><odb. k US_VS_3152	0,608	0,825	3231	1944	5,9	1,17
odb. k US_VS_3152><US_VS_3115	0,652	0,886	2608	1650	9,7	1,17
US_VS_3115><odb. k US_VS_3116 (VN223 VMEZ)	0,026	0,035	2588	1640	14,9	1,17
odb. k US_VS_3310><odb. k US_VS_3116	0,286	0,388	2387	1538	15,1	1,17
odb. k US_VS_3310><US_VS_3113	0,416	0,565	2144	1409	17,8	1,17
US_VS_3113><odb. k US_VS_3112	0,302	0,41	1996	1328	22,0	1,17
odb. k US_VS_3112><odb. k VS_5502	0,32	0,435	1860	1252	25,4	1,17
odb. k VS_5502><odb. k US_VS_3110	0,153	0,208	1801	1218	29,3	1,17
odb. k US_VS_3110><S_VMEZ	0,767	1,04	1555	1074	31,2	1,17

Tab. 87 Vypočítané parametry 1. odbočky vedení VN1212.

1: odb. k US_VS_3152><VS_9053 (Zbrojovka)	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3152><odb. k US_VS_3151	0,089	0,078	3156	1911	3,9	1,17
odb. k US_VS_3151><odb. k VS_4838	0,351	0,312	2885	1788	3,7	1,17
odb. k VS_4838><VS_9053 (Zbrojovka)	0,017	0,015	2873	1783	4,4	1,17
	0,306	0,267	2674	1688	5,0	1,17

Tab. 88 Vypočítané hodnoty 2. odbočky vedení VN1212.

2: odb. k US_VS_3116><VS_5578	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3116><odb. k VS_5577	1,484	1,295	1829	1239	7,2	1,17
odb. k VS_5577><odb. k VS_5579	0,494	0,432	1695	1162	12,2	1,17
odb. k VS_5579><VS_5578	0,451	0,247	1609	1113	5,1	1,17

Tab. 89 Vypočítané hodnoty 3. odbočky vedení VN1212.

3: odb. k US_VS_3310><US_VS_3304	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3310><odb. k VS_5483	0,238	0,208	1737	1182	12,6	1,17
odb. k VS_5483><odb. k US_VS_3122	0,472	0,412	1622	1116	13,6	1,17
	0,293	0,256	1557	1078	15,6	1,17
odb. k US_VS_3122><US_VS_3118	0,89	0,777	1389	976	16,9	1,17
US_VS_3118><odb. k VS_5475	0,207	0,18	1355	955	21,2	1,17
odb. k VS_5475><odb. k VS_9001	0,09	0,051	1343	948	11,4	1,17
odb. k VS_9001><odb. k VS_5477	0,077	0,039	1334	942	5,7	1,17
odb. k VS_5477><odb. k US_VS_3107	0,632	0,552	1241	884	23,0	1,17
odb. k US_VS_3107><odb. k US_VS_3120	0,184	0,161	1217	869	26,6	1,17
odb. k US_VS_3120><odb. k VS_5683	0,495	0,432	1155	829	27,7	1,17
odb. k VS_5683><odb. k VS_9170	0,777	0,679	1069	774	30,7	1,17
odb. k VS_9170><US_VS_3304	0,045	0,022	1066	771	79,6	1,17
	0,08	0,033	1060	768	50,2	1,17
	0,082	0,041	1054	763	81,0	1,17

Tab. 90 Vypočítané hodnoty odbočky 3.1 vedení 1212.

3-1: odb. k US_VS_3122><US_VS_3123	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
odb. k US_VS_3122><odb. k VS_5614	0,921	0,804	1384	973	16,9	1,17
odb. k VS_5614><US_VS_3123	0,611	0,533	1288	913	21,4	1,17

Tab. 91 Zadané parametry vedení VN1217.

VS_VSTN><US_VS_3419	Délka (m)	Průřez (mm ²)	Typ	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _d (A)	K (-)
VS_VSTN><US_VS_3438	1992	240	AXEKVCEY	0,125	0,113	417	93
US_VS_3438>budoucí odb. k US_VS_3285	319	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	1226	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1252	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
budoucí odb. k US_VS_3285>odb. k US_VS_3424	293	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	869	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	608	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1268	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	309	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	213	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	89	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	92	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3424>odb. k US_VS_3426	1062	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1207	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3426>odb. k US_VS_3431	449	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	1191	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1120	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	321	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	2198	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	640	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	778	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
odb. k US_VS_3431><US_VS_3419	631	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	699	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	511	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	194	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	141	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	403	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1168	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107
	383	120	PAS	0,228	0,308	430	93
	1292	110	AlFe110/22	0,266	0,361	318	107

Tab. 92 Vypočítané hodnoty vedení VN1217.

VS_VSTN><US_VS_3419	R_v (Ω)	X_v (Ω)	I_{k3max} (A)	I_{k2min} (A)	t_{vyp} (s)	k_e (-)
VS_VSTN><US_VS_3438	0,249	0,225	7908	3449	5,1	1,09
US_VS_3438>budoucí odb. k US_VS_3285	0,085	0,115	7400	3327	2,0	1,05
	0,28	0,378	6078	2974	2,1	1,05
	0,333	0,452	4981	2629	3,4	1,05
budoucí odb. k US_VS_3285>odb. k US_VS_3424	0,067	0,09	4805	2569	4,6	1,05
	0,231	0,314	4278	2378	5,4	1,05
	0,139	0,187	4013	2275	6,2	1,05
	0,337	0,458	3483	2057	7,8	1,05
	0,07	0,095	3389	2017	9,3	1,05
	0,057	0,077	3317	1985	10,9	1,05
	0,02	0,027	3293	1974	10,3	1,05
	0,024	0,033	3263	1961	11,6	1,05
odb. k US_VS_3424>odb. k US_VS_3426	0,242	0,327	2996	1839	10,6	1,05
	0,321	0,436	2700	1698	14,0	1,05
odb. k US_VS_3426>odb. k US_VS_3431	0,119	0,162	2605	1650	17,2	1,05
	0,272	0,367	2411	1552	16,6	1,05
	0,298	0,404	2228	1456	21,6	1,05
	0,073	0,099	2187	1434	22,8	1,05
	0,585	0,793	1908	1280	26,3	1,05
	0,146	0,197	1849	1247	31,0	1,05
	0,207	0,281	1771	1202	36,7	1,05
odb. k US_VS_3431><US_VS_3419	0,168	0,228	1713	1168	40,0	1,05
	0,159	0,215	1661	1138	38,5	1,05
	0,136	0,184	1619	1113	45,5	1,05
	0,044	0,06	1606	1105	43,1	1,05
	0,038	0,051	1595	1098	48,7	1,05
	0,092	0,124	1568	1083	44,4	1,05
	0,311	0,422	1485	1032	51,1	1,05
	0,087	0,118	1464	1019	51,2	1,05
	0,344	0,466	1384	970	58,7	1,05

5.5. Rozběhové proudy a kontrola PTP

Tab. 93 Vypočítané hodnoty.

Vedení	PTP	I_d (A)	I_{k2min} (A)	k_b (-)	$I_{>pr}$ (A)	$I_{>pr}$ nastavený (A)	$I_{>sek}$ (A)	$I_{>>pri}$ (A)	$I_{>>pri}$ nastavený (A)
VN32	300/5	318	1289	1,2	402	360	6	859	850
VN61	400/5	284	989	1,2	359	360	4,5	659	650
VN65	400/5	285	755	1,2	360	360	4,5	503	600
VN141	400/5	152	1969	1,05	168	170	2,1	1313	1300
VN152	400/5	273	1881	1,05	302	310	3,9	1254	1250
VN223	400/5	177	878	1,2	224	230	2,9	585	600
VN227	300/5	236	2561	1,2	298	300	5,0	1707	1600
VN231	300/5	285	2022	1,05	315	320	5,3	1348	1340
VN238	400/5	222	1728	1,05	245	250	3,1	1152	1150
VN243	300/5	150	4641	1,2	189	190	3,2	3094	1600
VN889	400/5	353	3644	1,05	390	400	5,0	2429	1600
VN890	400/5	353	3641	1,05	390	400	5,0	2427	1600
VN893	400/5	236	3195	1,2	298	300	3,8	2131	1600
VN1212	400/5	318	763	1,2	402	410	5,1	509	600
VN1217	400/5	318	970	1,2	402	410	5,1	647	640

U vedení VN32 by byl překročený proud primárem i sekundářem PTP, proto se nastaví rozběhový proud nadproudového stupně na 120 % PTP, tj. $I_{>pr} = 360$ A respektive $I_{>sek} = 6$ A. Proudů zkratových stupňů, které převyšují 1700 A (což je nastavení pro SP), se sníží na 1600 A, aby byly proudově níže než nastavení SP (viz kap. 5.7). U některých vedení jsou vypočítané zkratové proudy na odbočkách naopak tak malé, že se ochrana nedá tak nízkou nastavit, protože už může zasahovat do zapínacích nárazů (ledničkový efekt). Pokud vyšel na odbočce proud menší než 600 A, bude nastaven na 600 A. V případě poruchy na této odbočce pak nepůsobí zkratová ochrana a OZ, ale pouze nadproudová ochrana.

5.6. Chránění transformátorů na straně VN

Transformátory T101, T102 budou chráněny na straně VN ochranou proti nadproudu a zkratu. Nadproudová ochrana se nastavuje na 130 % jmenovitého proudu.

$$I_{n2} = \frac{S_{nT}}{\sqrt{3} \cdot U_{n2T}} = \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3} = 1255 \text{ A}$$

Nadproudová ochrana (1. stupeň):

$$I_1 = 1,3 \cdot I_{n2} = 1,3 \cdot 1255 = 1632 \text{ A}$$

Nastavena bude hodnota 1640 A.

Čas vypnutí se nastavuje zhruba 0,2 s nad časem nadproudové ochrany spojky přípojníc SP. Proto se nastaví na čas $t_{>} = 1,8$ s.

Zkratová ochrana (2. stupeň):

Nastavuje se na polovinu minimálního zkratového proudu rozvodny.

$$I_{k3min} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{STmax}} = \frac{1 \cdot 23 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3,1} = 4284 \text{ A}$$

$$I''_{k2min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{k3min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4284 = 3710 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I_{k2min}}{2} = \frac{3710}{2} = 1855 \text{ A}$$

Nastaví se hodnota 1850 A.

Časy zkratové ochrany SP a T101/T102 by měly být odstupňované. Díky použití funkce LOR (logická ochrana rozvodny) se však může nastavit na $t_{\gg} = 0,2 \text{ s}$. Stupně jsou blokovány náběhem zkratových ochrany ve vývodech. Náběh zkratové ochrany na SP pak blokuje zkratové ochrany v traftech.

Transformátor vlastní spotřeby T21

U tohoto transformátoru je použit odpínač s pojistkou 20 A. Zde bude SIPROTEC 5 instalován z důvodu dálkového ovládání silových prvků, měření a signalizace. Ochranné funkce nebudou využity.

5.7. Nastavení SP a SPP

Spojka přípojníc SP se používá pro převádění provozu a některé provozní stavy. Nastavuje se podobně jako transformátory T101, T102, měla by ale proudově nastavená o 10% níže. Stačí tedy nastavení na 120 % jmenovitého proudu transformátoru. Čas se nastavuje o 0,2 s více než je nejvyšší čas nadproudových ochrany na vývodech.

Pro nadproudovou ochranu SP platí:

$$I_{r>} = 1,2 \cdot I_{n2} = 1,2 \cdot 1255 = 1506 \text{ A}$$

Nastaví se hodnota 1500 A, která zároveň vyhovuje přetížitelnosti PTP (1250/5)

Čas se nastaví na $t_{>} = 1,6 \text{ s}$.

Pro zkratovou ochranu SP se používá následující nastavení: rozběhový proud musí být vyšší než u zkratových ochrany vývodů, ale nastavuje se níže než zkratová ochrana transformátorů (T101/T102).

S ohledem na to, že zkratová ochrana transformátorů je nastavena na 1850 A, proud se nastaví níže na 1700 A.

Čas rozběhu bude vzhledem k použití funkce LOR nastavený na $t_{\gg} = 0,2 \text{ s}$.

Nastavení SPP:

SPP je speciální případ vývodu. Pokud jsou např. nutné práce v kobce (vypínač, ochrana, PTP, PTN), převede se vývod z hlavní přípojnice přes kobku SPP na pomocnou přípojnicí a přes odpojovač pomocné přípojnice do vlastního vedení. Proto by v ochraně SPP měly být nastavené stejné hodnoty jako v ochraně vývodu. Protože však mají ochrany různá nastavení, používá se s výhodou až 8 sad nastavení v 7SJ85. Pokud mají některé vývody podobné nastavení, sdruží se do jedné sady.

Např:

VN61:

$I_{r>} = 360 \text{ A}; t_{>} = 1,4 \text{ s}$

$I_{r>>} = 650 \text{ A}; t_{>>} = 0 \text{ s}$

VN1212:

$I_{r>} = 410 \text{ A}; t_{>} = 1,4 \text{ s}$

$I_{r>>} = 600 \text{ A}; t_{>>} = 0 \text{ s}$

Vývod VN1217:

$I_{r>} = 410 \text{ A}; t_{>} = 1,4 \text{ s}$

$I_{r>>} = 640 \text{ A}; t_{>>} = 0,2 \text{ s}$

1. sada sdruží vývody VN61, VN 1212 a VN1217.

Nastavení 1. sady.

$I_{r>} = 410 \text{ A}; t_{>} = 1,4 \text{ s}$

$I_{r>>} = 600 \text{ A}; t_{>>} = 0,2 \text{ s}$

Tab. 94 Nastavení sad pro SPP.

Sada	Vedení	$I_{>pr}$	$t_{>}$	$I_{>>pr}$	$t_{>>}$
		(A)	(s)	(A)	(s)
1	VN61, VN1212, VN1217	410	1,4	600	0,2
2	VN889, VN890	400	1,4	1600	0,5
3	VN65, VN223	360	1,2	600	0,4
4	VN896	300	1,2	1600	0
5	VN32	360	1,2	850	0,2
6	VN152, VN231, VN238	320	1	1150	0
7	VN227, VN243	300	1	1600	0
8	VN141	170	1	1300	0

Takto se dá využít až 8 sad. Přepínání sad se provádí komunikačně (IEC 61850) a logikou v ochraně SPP. Pokud se např. založí ve vývodu 3 odpojovač na pomocnou přípojnici, ochrana vývodu 3 vyše zapnutý stav tohoto odpojovače do komunikace, ochrana v SPP si toto přečte a podle své logiky se přepne do 2. sady.

5.8. Nastavení HDO1, HDO2

U HDO se zkratové proudy nepočítají, nastavení provádí podle zkušeností. Nadproudová ochrana bude nastavena na 80 A s časem $t_{>} = 1 \text{ s}$, což bezpečně ochrání i PTP 100/5. Zkratová ochrana bude nastavena na 300 A s časem $t_{>>} = 0 \text{ s}$.

5.9. Zemní směrové ochrany

U kompenzovaných sítí se používá wattmetrická ochrana. Tyto typy ochran vyhodnocují zbytkové napětí U_0 , nulový proud I_0 a úhel mezi nimi. Z důvodu zjednodušení výpočtu a nepřesností měření bylo zvoleno v zásadě jednotné nastavení všech zemních směrových ochran, pracujících na tomto principu. Proud se nastavuje na hodnotu $I_0 = 2$ A, napětí se nastavuje na hodnotu $U_0 = 15$ V. Úhel mezi těmito veličinami je ovlivněn úhlovou chybou proudových transformátorů a zjednodušením výpočtu. Časové zpoždění se nastavuje na 0,2 s z důvodu odeznění přechodových jevů. Nejvíce poruch u těchto sítí se týká právě zemních spojení. [12]

Tab. 95 Nastavení zemních směrových ochran.

Vedení	U_0 (V)	I_0 (A)	t_0 (s)
VN32	15	2	0,2
VN61	15	2	0,2
VN65	15	2	0,2
VN141	15	2	0,2
VN152	15	2	0,2
VN223	15	2	0,2
VN227	15	2	0,2
VN231	15	2	0,2
VN238	15	2	0,2
VN243	15	2	0,2
VN889	15	2	0,2
VN890	15	2	0,2
VN893	15	2	0,2
VN1212	15	2	0,2
VN1217	15	2	0,2
SPP	15	2	0,2

5.10. Nastavení automatiky opětného zapnutí

AOZ bude použita u venkovních vedení. U kombinovaných vedení bude pouze tam, kde je hlavně venkovní vedení a pouze krátký kabelový úsek. U generátorů se AOZ používat nesmí. U ochrany SIPROTEC 5 lze nastavit krátký i dlouhý cyklus. První čas bude nastaven na 0,8 s. Druhý čas bude nastaven na 25 s, aby měly čas úsečníky působit. Pokud jsou například dva úsečníky za sebou, aby nevypnuly oba najednou, komunikují spolu přes řídicí systém. Pokud by druhá beznapěťová pauza byla delší než 30 s, musely by se tyto výpadky vykazovat ERÚ. Opětovné zapnutí se používá pouze u zkratových stupňů.

Konstrukčně se pro tento účel lze použít pouze vypínače vakuové nebo s plynem SF₆. Zde jsou v rozvodně použity vakuové VD4(M) od firmy ABB. Vedení VN65 má inteligentní pojistky, které umí také vypínat druhé beznapěťové pauzy.

6. Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran

Při nastavování časů nadproudových a zkratových ochran je třeba postupovat tak, aby byla zajištěna selektivita. Na úseku VS9053 (Zbrojovka Jablunka), který je umístěný na konci vedení VN231 je umístěná nezávislá nadproudová ochrana AT21X. Má nastavený čas 0,5 s, z čehož vyplývá, že v rozvodně musí být nastaven vyšší čas. Týká se to i vedení VN1212, které vede rovněž na tento úsek z druhé strany, ale za normálního provozního stavu napájí tento úsek vedení VN231. Transformátory dodávající elektrickou energii z teplárny (VN889, VN890) mají vlastní ochranu a pokud by u nich došlo ke zkratu, musí jejich ochrana vypnout dříve. Protože jsou některá vedení poměrně dlouhá, jsou v nich umístěny další prvky, což má vliv na další zpoždění v nastavení času. Některá vedení jsou vybaveny reclosery, které jsou vybaveny podobně jako vývody – mají ochrany. Když bude zkrat za recloserem, musí působit ochrana recloseru a ne v rozvodně, proto jsou některé vypínací časy prodloužené. Pokud nejsou v síti další prvky ovlivňující čas vypnutí, je čas zkratových ochran nastaven na 0 s.

Vedení VN65 původně používalo dvě sady nastavení, ale nyní už bude pouze jedno nastavení. Jedná se o okružní vedení, které vede okolo města. Obsahuje inteligentní pojistky, které umí vypínat druhé beznapěťové pauzy.

Rozvodnu R22kV by bylo možno chránit rozdílovou ochranou přípojníc, ale bylo by to příliš drahé řešení. Proto se pro snížení zkratových vypínacích časů transformátorů a SP použije logická ochrana rozvodny.

Tab. 96 Výsledné nastavení ochran.

Vedení	nezávislá nadproudová (nesměrová)			zkratová		
	$I_{>pr}$ (A)	$I_{>sek}$ (A)	$t_{>}$ (s)	$I_{>>pr}$ (A)	$I_{>>sek}$ (A)	$t_{>>}$ (s)
VN32	360	6,0	1,2	850	14	0,2
VN61	360	4,5	1,4	650	8	0
VN65	360	4,5	1,2	600	8	0,4
VN141	170	2,1	1	1300	16	0
VN152	310	3,9	1	1250	16	0
VN223	230	2,9	1	600	8	0,2
VN227	300	5,0	1	1600	27	0
VN231	320	5,3	1	1340	22	0
VN238	250	3,1	1	1150	14	0
VN243	190	3,2	1	1600	27	0
VN889	400	5,0	1,4	1600	20	0,5
VN890	400	5,0	1,4	1600	20	0,5
VN893	300	3,8	1,2	1600	20	0
VN1212	410	5,1	1,4	600	8	0
VN1217	410	5,1	1,4	640	8	0,2
SP	1500	6,0	1,6	1700	7	0,2

Hodnoty proudů zkratových ochran, které překročily výpočetně 1600 A, byly nastaveny na tuto hodnotu s ohledem na nastavenou hodnotu na SP. Nové ochrany budou obsahovat všechny potřebné funkce a možnost komunikovat protokolem IEC61850, edice 2. Pro chránění budou využity funkce

digitální ochrany 7SJ85, a to nezávislá nadproudová ochrana, zkratová ochrana, zemní směrová ochrana, logická ochrana rozvodny a AOZ (viz kap. 5). Tam kde nebudou ochranné funkce využity, bude použit pouze terminál pro možnost ovládání, řízení nebo měření (poleč č. 20 TVS, pole č. 22 měření). V rozvodně byly původně umístěny starší elektromechanické ochrany a starší digitální ochrany SPAJ140C. Pouze na vedení VN141 byla umístěna novější 7SJ62, ale i ta bude nahrazena.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout nastavení ochran vedení na rozvodně R22kV Vsetín. Použití nového typu 7SJ85 od jednoho výrobce zlepší spolehlivost při chránění i komunikaci s novým řídicím systémem. Investice do modernizace se vrátí v podobě zvýšení spolehlivosti a větších možností při ovládání a měření. Použitá ochrana SIPROTEC5 umožňuje dálkový dohled a zapisování poruch.

Pro firmu ČEZ Distribuce, a.s. je práce přínosem v tom, že může být využita při modernizaci rozvodny, a to zejména s ohledem na velké množství výpočtů, které bylo potřeba provést. Pro mne bylo hlavním přínosem ověření získaných dovedností získaných při studiu. Možnost aplikace teoretických dovedností z oblasti elektrických ochran a výpočtů zkratových proudů na praktický projekt ověřilo mé znalosti, které budu moci využít při dalším profesním rozvoji. Teoretická část může být využita ke studiu teorie z oblasti elektrických ochran vedení a výpočtů zkratových proudů. Praktická část může sloužit i jako návod, jak postupovat v praxi při návrhu a nastavení ochran na obdobných projektech. Elektroenergetika je stále se rozvíjející obor a tato práce reflektuje nejnovější trendy používané při modernizaci rozvoden. Diplomovou práci bude možné využít i v budoucnu, pouze lze předpokládat, že dojde k vývoji nové řady ochran, případně vyjdou nové edice použitých norem, ale postup návrhu zůstane v dalších letech obdobný.

Literatura

- [1] Janíček F., Chladný V., Beláň A., Eleschová Ž.: *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2004. 360 s. ISBN 80-227-2135-2
- [2] Hradílek Z.: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: Montanex a.s., 2008. 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [3] Dohnálek P.: *Ochrany pro průmysl a energetiku*. Praha: SNTL, 1991. 306 s. ISBN 978-80-260-6184-7
- [4] Haluzík E.: *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: Skriptum VUT Brno, 1985.
- [5] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – výpočet proudů*, ed. 2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 65 s.
- [6] ČSN EN 333051. *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992. 21 s.
- [7] SIPROTEC 5: *Bezpečné systémové řešení* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/siprotec-5-bezpecne-systemove-reseni>
- [8] Siemens: *Technický manuál 7SJ85* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742384/siprotec-5-7sj82-7sj85-overcurrent-protection-manual?dti=0&pnid=25292&lc=en-US>, 2020. 1932 s.
- [9] Dohnálek P.: *Provoz a údržba ochran v energetice*. Praha: SNTL, 1989. 320 s. ISBN 04-517-89.
- [10] Siemens, *SIPROTEC 5 Nadproudová ochrana 7SJ82/7SJ85 V4.00*: Příručka, 2013. 1160 s.
- [11] *Technická dokumentace rozvodny Vsetín R22kV*, ČEZ Distribuce, a.s.
- [12] Blokša M. *Indikace zemního spojení v sítích VN*. Konference ČK CIRED, 2005. 10 s.
- [13] Krejčí P.: *Cvičení z elektroenergetiky*. Skriptum VŠB Ostrava, 2003. 107 s.

Seznam příloh

Příloha A: Schéma rozvodny R22 kV Vsetín.

Příloha A.

